

大岗山水电站地下厂房区辉绿岩脉群发育特征及稳定性状况评价*

魏志云^{①②} 徐光黎^{①②} 申艳军^③ 朱可俊^④

(①中国地质大学 工程学院 武汉 430074)

(②岩土钻掘与防护教育部工程研究中心 武汉 430074)

(③西安科技大学 建筑与土木工程学院 西安 710054)

(④中国水电顾问集团成都勘测设计研究院 成都 610072)

摘要 在大岗山水电站地下厂房区花岗岩基体(γ_2^{4-1})中贯穿交错有许多走向各异、形态多变、规模不等的辉绿岩脉(β),该岩脉群岩体破碎,强度较低,且伴有长大断层沿边界发育,成为整个厂房区显著的构造软弱带,给厂房区开挖支护造成较大的困难和风险。为清晰地了解辉绿岩脉群的发育特征与影响范围,以便更好地指导现场开挖支护,首先对不同高程揭露的岩脉走向、延伸尺寸、形态特征、内部构造及物质组分详细归纳介绍,接着,应用区域地质构造和地质演化规律分析岩脉群侵位及岩浆热液活动的影响过程,最后,基于以上充分的地质调查和演化规律分析,对厂房区揭露的长大岩脉稳定性状况进行了较为合理评估,并提出一些有参考意义的支护建议。此外,还对岩脉群物质组分的分区段特征、蚀变程度与形成先后关联性等问题进行了有益的讨论。

关键词 辉绿岩脉 发育特征 地质成因 稳定性评估 岩浆热液活动

中图分类号:TU45 **文献标识码**:A

CHARACTERISTICS AND STABILITY EVALUATIONS OF DIABASE DIKES GROUP SURROUNDING UNDERGROUND CAVERNS OF DAGANGSHAN HYDROPOWER STATION

WEI Zhiyun^{①②} XU Guangli^{①②} SHEN Yanjun^③ ZHU Kejun^④

(①Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

(②Engineering Research Center of Rock-Soil Drilling and Excavation and Protection, Ministry of Education, Wuhan 430074)

(③School of Architecture and Civil Engineering Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054)

(④Hydro China Chengdu Engineering Corporation, Chengdu 610072)

Abstract The main granite mass surrounding the underground cavern groups of Dagangshan hydropower station have many diabase dikes (β). Their types, trends, shapes and scales are different. They run through and interpenetrate the granite body (γ_2^{4-1}).

These dikes have broken rocks, low strength, long adhesion fault along the boundaries. They become remarkable weak structure zones of the entire underground caverns, and bring greater difficulties and risks to the excavation and support. Investigations are carried to clearly understand the development characteristics and influence scope of

* 收稿日期: 2012-03-25; 收到修改稿日期: 2012-07-25.

第一作者简介: 魏志云, 主要从事地下工程岩体稳定性方面工作. Email: welking1987@126.com

diabase dikes for better guiding in-site construction. The investigations include the following works. Firstly, dike strikes, extension sizes, morphologic features, internal structure and material composition in different elevations are examined in detail. Then, the regional geological structure and evaluative rule are applied to analyze the diabase dikes' invasion and the effect process of magmatic hydrothermal activity. Finally, based on systematic geological survey and evaluative rule analysis, the stability of dominant diabase dikes are evaluated reasonably and some significant supporting methods are recommended. In addition, a useful discussion is given about material sectional characteristics of diabase dikes and association between alteration-degree and forming sequence.

Key words Diabase dikes, Development characteristics, Geological genesis, Stability evaluation, Magmatic hydrothermal activity

1 引言

大岗山水电站位于四川省大渡河中游的峡谷地段,大地构造属扬子准地台西部二级构造单元康滇地轴范畴,处于由磨西断裂、大渡河断裂和金坪断裂切割成的“黄草山断块”上。主要岩体为澄江期灰白、微红色中粒黑云二长花岗岩(γ_2^{4-1}),其内充填有大量走向起伏弯折、相互穿插、限制、交汇的辉绿岩脉(β),该类岩脉侵位后遭受多次强烈的构造改造和次生改造,脉体破碎,并伴有长大断层及节理沿边界发育,使其成为地下厂房区整个花岗岩均质体中显著构造软弱带。

坝区内南北向和北西向构造交错,总体呈“Y”字形,虽无区域性断裂通过,但规模相对较小的断层十分发育。由于区内广泛发育的辉绿岩脉与花岗岩接触界面的截然性,以及辉绿岩脉脉壁强烈胶泥石化的弱化作用,导致断层构造的形成与辉绿岩脉密切相关,多数沿岩脉脉壁发育,属浅层次的脆性变形破坏断层。辉绿岩脉多呈近SN(NNW、NNE)走向,与坝区主要构造形迹和区域构造线基本一致,明显受到区域构造控制(图1)。

多位学者针对构造软弱带对地下洞室、隧道等影响进行了相关探讨,王幼麟等^[1]研究了葛洲坝水电站黏土岩类泥化错动带物质组成及力学性质,考虑了在钙型水的渗透作用下对工程稳定性的影响;魏进兵等^[2]针对龙滩水电站地下洞室群内大量发育的层间断层和错动带,在分析其分布及发育特征基础上,应用有限元法预测开挖对软弱带的稳定性影响过程,并提出了有针对性的支护建议;金长宇等^[3]调查了贯穿于白鹤滩水电站地下洞室群的层间错动带发育特征,结合现场试验,构造出符合其发育特点的力学模型,应用数值法对错动带力学参数进行反演,进而对地下洞室群围岩稳定性进行了合

理评价;康勇等^[4]结合现场监测和数值模拟,分析了大跨度穿煤隧道围岩稳定性状况,指出:在对软弱层开挖时,易引起围岩应力重分布,拱顶位移不断增加,荷载结构偏压效应凸显,对支护结构稳定性造成极大考验。Ozsán A et al.^[5]综合应用经验评估法(RSR、RMR、Q及GSI)、传统弹塑性解析法及数值法对土耳其某斜穿泥质软弱层长大隧道稳定性进行了探讨,建议在对软弱带稳定性评价需采用多种方法综合确定,并应据实际情况动态调整。Santi P^[6]对常用软弱岩体评价方法归纳,总结了美国国内大型工程揭露的软弱带组分、强度特征,指出对软弱带强度、渗透性、耐久性及水蚀性的评价是实现软弱带稳定性研究的重要途径。此外,关于大岗山水电站工区辉绿岩脉工程特性及加固处理方法上亦有相关报道^[7-14],以上研究思路及成果对本文关于大岗山水电站地下厂房辉绿岩脉群发育状况及稳定性评价具有一定启迪意义。

针对研究区内岩脉群延伸性强、宽度大、脉体破碎、蚀变性强的特点,本文首先对地下厂房区揭露的岩脉产状、延伸尺寸、形态特征、内部构造及物质组分子予以详细归纳,接着讨论脉体侵位及岩浆热液活动影响过程,研究其侵入过程及与区域地质构造运动的关联性;最后,以此对厂房区长大岩脉稳定性状况予以评价,并提出一些有参考意义的支护建议。此外,对岩脉物质组分区段特征、蚀变程度与形成先后关联性等问题进行了有益的讨论。

2 辉绿岩脉群发育特征

2.1 产状特征

对厂房区不同高程、位置揭露的辉绿岩脉统计分析的结果显示(图2),厂房区辉绿岩脉优势产状有4组:①N70°E/NW \angle 68°;②N9°W/SW \angle 67°;③N47°W/SW \angle 82°;④N78°W/SW \angle 75°。

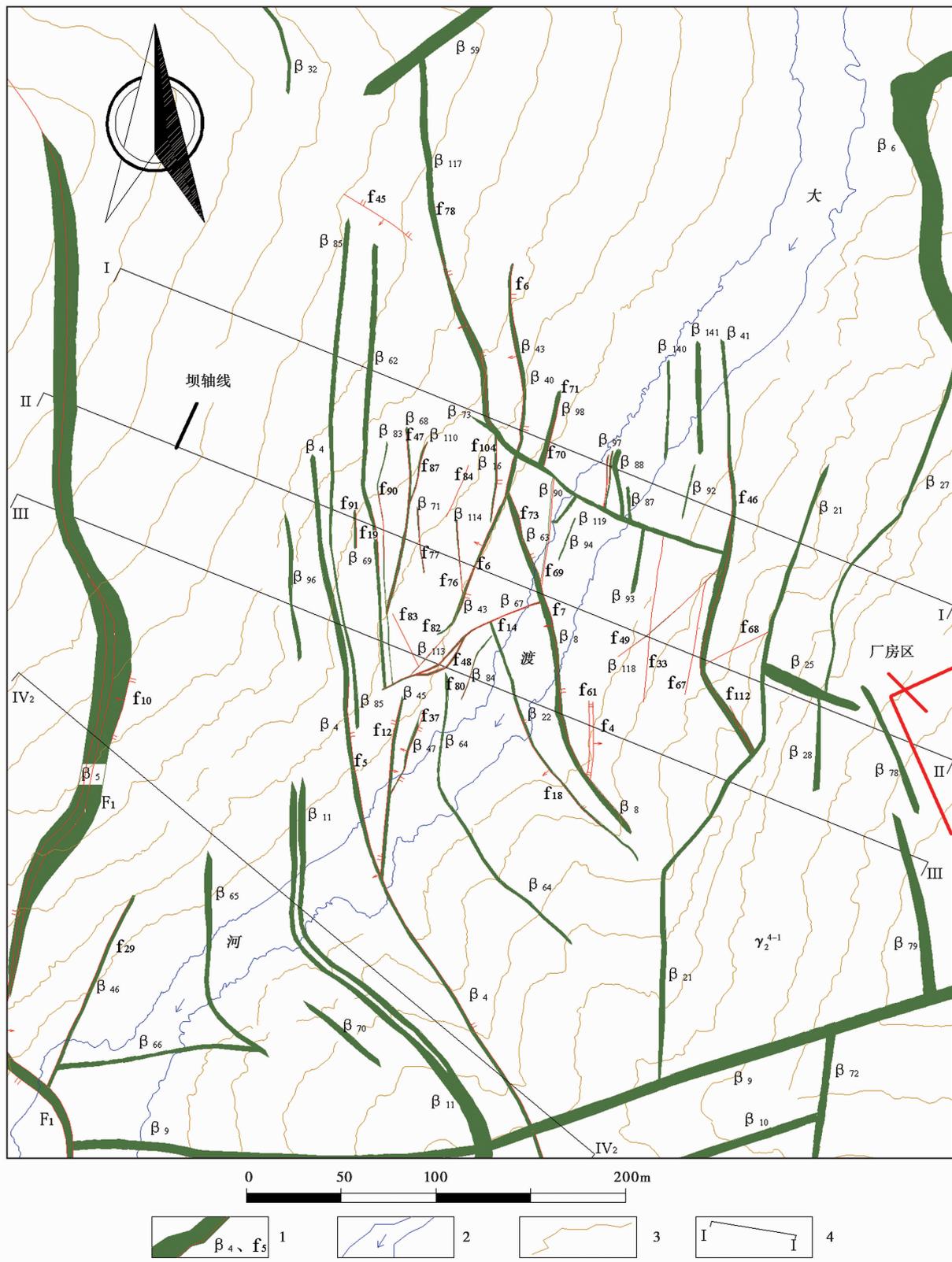


图1 大岗山水电站枢纽区构造纲要图

Fig. 1 The structural outline map of the Dagangshan hydropower station

1. 辉绿岩及其伴生断层; 2. 大渡河; 3. 地形等高线; 4. 勘探线

其中①、②为主要发育产状,可见厂房区辉绿岩脉群走向主要为近 SN—NE,倾向 NW—W,少量走

向为 NWW,倾向 SW。

从岩脉倾角柱状图可知,倾角大于 60°的陡倾

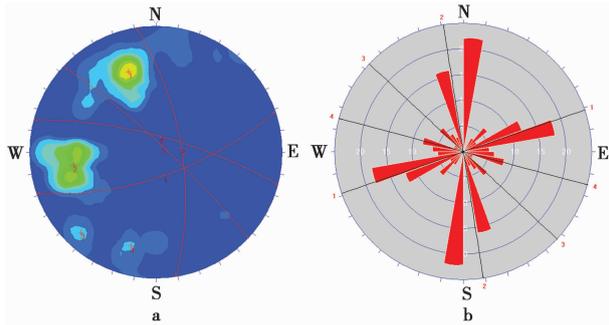


图2 厂房区辉绿岩脉群产状分布特征

Fig. 2 Attitude distribution characteristics of diabase dikes group at the underground caverns

a. 产状等密度图; b. 走向玫瑰花图

岩脉占岩脉总数的84%以上,其中又以 $65^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 的陡倾角岩脉最为发育,占岩脉总数的65.8%;在中等倾角的岩脉中,以 $45^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 的占主导,为4.3%, $<45^{\circ}$ 的缓倾岩脉在厂房区几乎不发育,仅见一条(图3)。

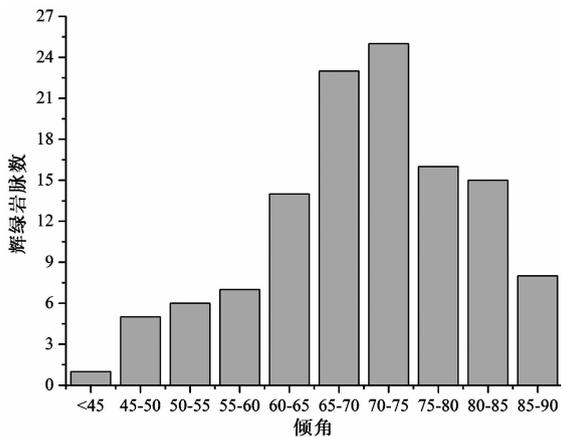


图3 厂房区辉绿岩脉群倾角分布柱状图

Fig. 3 Dip angle distribution histogram of diabase dikes group at the underground caverns

2.2 延伸长度及宽度特征

在厂房内,由于无法直接观测辉绿岩脉的实际延伸情况,只能利用各洞室揭露情况予以组合分析,进而推断其延伸长度,对照厂房区不同高程平切图(图4),可推断延伸长度在100~300m之间。

对岩脉群的宽度可通过各洞室揭露情况予以统计。统计结果显示,厂房区内岩脉宽度差异显著,小的仅为1~2cm,宽的可达8m。但总体上,岩脉宽度普遍较小,多 <80 cm,而宽度 >1.5 m的长大规模辉绿岩脉为 β_{80} 、 β_{81} 、 β_{163} 、 β_{164} 、 β_9 等。其详细揭露位置、发育特征见表1。

表1 厂房区主要揭露的长大辉绿岩脉一览表

Table 1 Dominant diabase dikes at underground caverns

| 编号 | 产状 | 发育位置 | 与围岩接触关系 | 宽度/m | 边界断层 |
|---------------|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------------------|
| β_{80} | $N20^{\circ}W/SW \angle 63^{\circ}$ | 副厂房 | 断层式接触 | 4~5 | f_{57} 、 f_{58} |
| β_{81} | $N12^{\circ}W/SW \angle 77^{\circ}$ | 三大厂房均揭露 | 断层式接触 | 1.8~2.2 | f_{59} 、 f_{60} |
| β_{163} | $N30^{\circ}E/NW \angle 60^{\circ}$ | 主变室、安装室 | 裂隙式接触 | 0.8~1.4 | — |
| β_{164} | $SN/W \angle 65^{\circ}$ | 三大厂房均揭露 | 裂隙式接触 | 0.5~1.1 | — |
| β_9 | $N60^{\circ}W/NE \angle 80^{\circ}$ | 尾水洞、交通洞 | 断层式接触 | 5.5~8 | f_{12} 、 f_{13} |

2.3 形态特征

厂房区较大规模的辉绿岩脉形态在剖面上多呈板状、透镜状,平面上为较平直延伸的长条状^[7-9];而宽度较小的分支岩脉多不规则,分支、串接、弯转现象较为普遍,尖灭、折拐、错移、断头也屡见不鲜,局部脉体有花岗岩捕虏体。厂房区内发育的辉绿岩脉形态特征可归纳为以下3种:

(1)单一形态:此种形态的一条岩脉单独发育形成。有的较为平直(图5a);有的随构造裂隙面弯折,甚至于宽度特征发生变异(图5b)。

(2)组合形态:有的两相邻岩脉之间对连通的构造裂隙进行充填岩脉组合形成近“H”形的组合岩脉;有的在基体岩脉一侧或两侧,形成数条分支岩脉,构造成类似渗水状的组合岩脉(图5c)。

(3)错动扭曲形态:辉绿岩脉还因后期强烈的大地构造错动作用形成走向多变、错动扭曲的形态(图5d)。

2.4 内部结构形态

据辉绿岩脉内部裂隙的发育特征、块体尺度及其嵌合程度,可将岩脉内部结构分为块状结构、次块状结构、镶嵌结构、块裂结构、碎裂结构及散体结构等6种。

对厂房区辉绿岩脉内部结构统计表明,厂房区内的辉绿岩脉内部结构总体较为破碎,以镶嵌结构和块裂结构为主,共占67%;性状最差的碎裂结构和散体结构共占24%;而性状较好的块状结构、次块状结构仅占9%。

2.5 物质组分

大岗水电站地下厂房区揭露岩脉多呈灰绿-

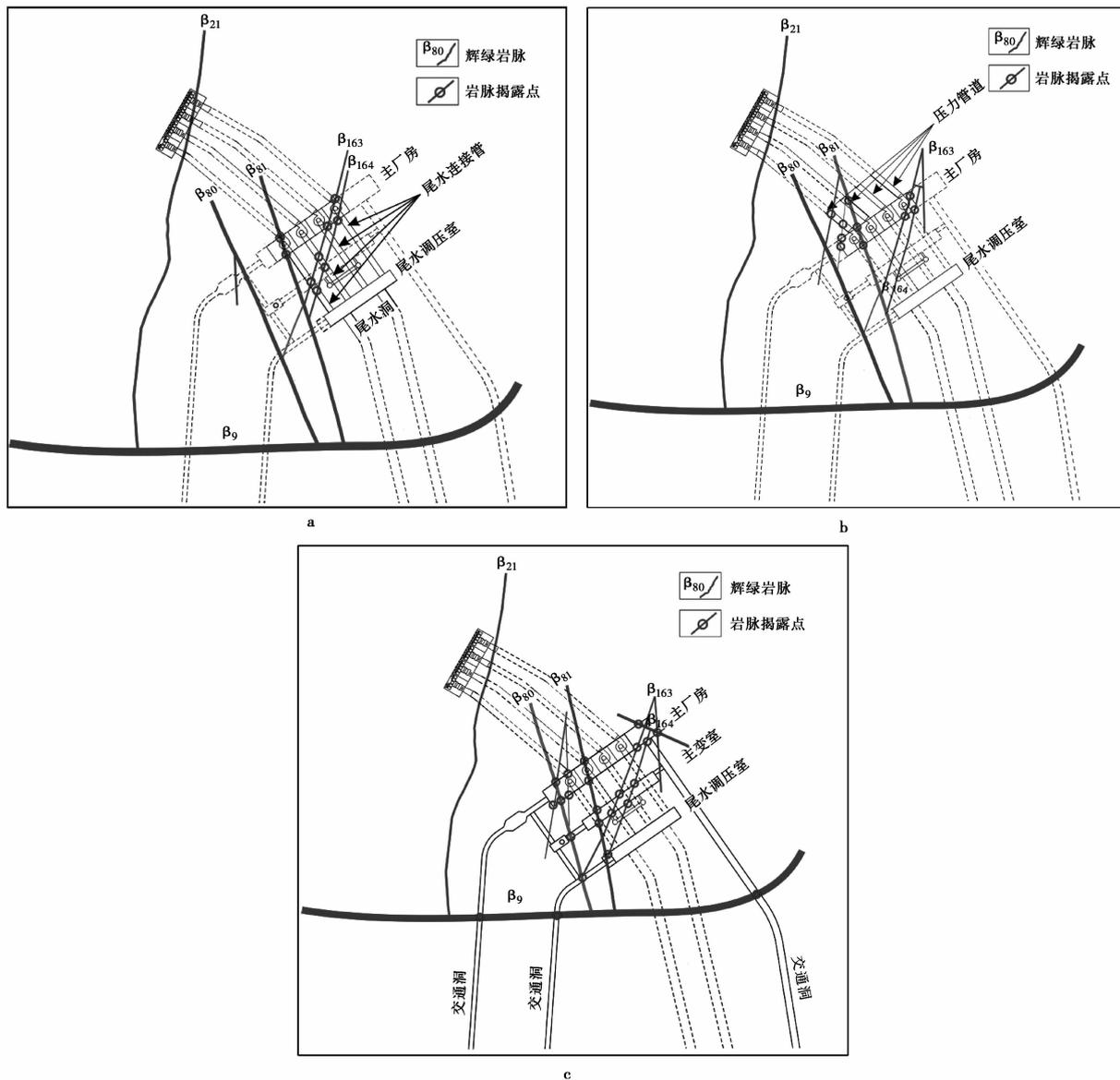


图4 厂房区不同高程揭露的辉绿岩脉群

Fig. 4 Different elevations of diabase dikes group at underground caverns

a. 高程 925m; b. 高程 950m; c. 高程 980m

绿黑色,块状构造,矿物粒度 0.2 ~ 0.8mm。主要矿物为基性斜长石和普通辉石。镜下具有辉绿结构,即辉石呈他形粒状,充填于自形-半自形板柱状的斜长石搭成的格架之中(图6)。覃礼貌对辉绿岩脉物质组分测定表明^[9]:斜长石含量多在 50% 左右,An 值为 40 ~ 60;辉石多为普通辉石,含量为 45% 左右,另有少量石英和磁铁矿。

受后期构造作用影响,在岩脉靠近围岩边界处多发生绿泥石蚀变现象,形成强度极低的断层泥,镜下可见绿泥石矿物(绿色、褐色)受断层错位影响呈细条带状充填,斜长石(白色)挤压破碎,局部出现带状拉伸(图7)。

3 辉绿岩脉群成因分析

3.1 岩脉发育区位特征

由工程区域岩脉分布特征知,岩脉在区位上沿大渡河断裂—磨西断裂的近 SN 向成群展布,向 EW 两侧逐渐稀少,特别是沿大渡河断裂两侧密集分布,其优势产状(见 2.1 节)与主要构造断裂带近似平行(大渡河断裂:SN/W $\angle 45^\circ \sim 80^\circ$ 、磨西断裂:N $10^\circ \sim 30^\circ$ W/SW $\angle 70^\circ \sim 78^\circ$)。

由岩脉规模和其侵位方式,并考虑区域地质情况知,岩脉的侵位过程与构造活动产生的张性节理

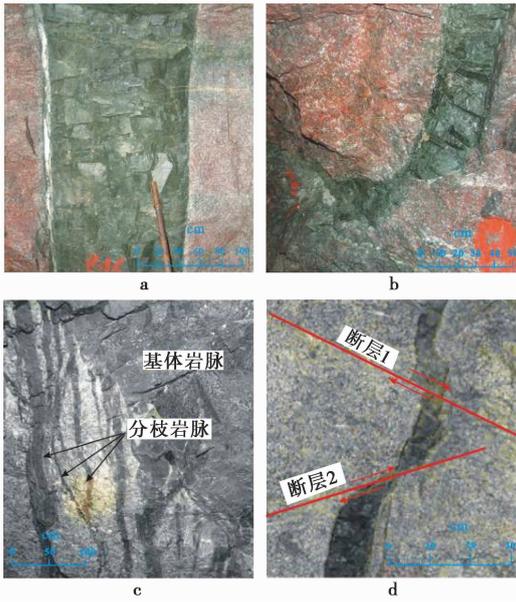


图5 辉绿岩脉群的发育形态特征

Fig. 5 Morphologic features of diabase dikes group at underground caverns

a. 单一平直状态; b. 单一弯折状态; c. 分支组合状态; d. 错动扭曲状态



图6 未蚀变辉绿岩块体形态及物质组分(正交偏光, ×20)

Fig. 6 Non-alteration diabase block shape and its microscopic composition(cross-polarization, ×20)

息息相关, 岩脉在区位上严格受控于构造应力场。

3.2 岩脉侵位过程分析

夏廷高等曾对厂房附近辉绿岩脉进行同位素测试^[15], 结果发现, 未蚀变辉绿岩脉中获全岩 K-Ar 法

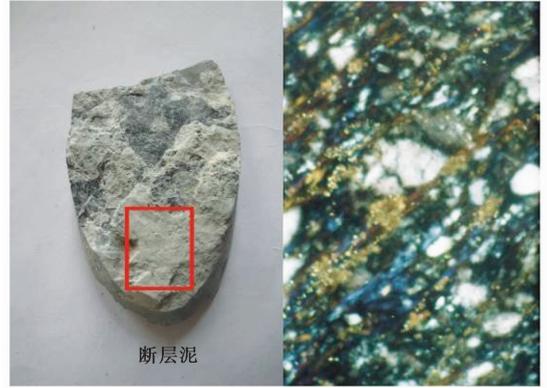


图7 断层泥发育特征及物质组分(正交偏光, ×36)

Fig. 7 Fault gouge characteristics and its microscopic material composition(cross-polarization, ×36)

年龄为 250.3 ± 4.0 Ma, 蚀变辉绿岩中获全岩 K-Ar 法年龄 77.2 ± 46.3 Ma, 反映出本区岩脉形成与发育过程具有多周期性。

由未蚀变辉绿岩脉全岩 K-Ar 法年龄可判定, 岩脉侵位过程应伴随印支—燕山期陆内推覆造山晚期基性岩墙事件的发生, 由印支—燕山期强烈的构造运动形成大量的构造张性节理, 而这些具有一定空隙的节理出现为岩脉的充填提供了通道和场所, 岩脉在 SN 向构造带和 NW 向构造带活动作用下侵位充填, 岩脉充填结晶过程中同时受到构造应力作用, 使部分岩脉产生变形破碎。

3.3 岩脉蚀变特性分析

按我们常规对辉绿岩的理解, 其应具有强度大、变形小、稳定性好等特点, 但本区内的辉绿岩脉却强度低、脉体破碎、稳定性差, 与传统辉绿岩的特性相差甚远, 如 2.5 节介绍, 区内的岩脉内部多发生了绿泥石蚀变, 而绿泥石蚀变过程与岩浆热液活动密不可分, 在岩脉充填过程中伴随着大量的岩浆热液作用, 使得辉绿岩中的辉石多蚀变为绿泥石, 而辉绿岩中含有较多的辉石(含量 45% 左右), 热液蚀变的结果是大量强度低的绿泥石充填脉体中, 使得其强度大为降低, 在受到外界构造作用下易发生变形破坏。

在后期多次大地构造作用(三叠纪末—地台活化期之大陆边缘碰撞造山运动、喜马拉雅运动和晚近(新)构造运动)中, 产状近平行于区域断裂的岩脉应构造应力的影响而多次发生错位变形, 最终沿岩脉边界形成贯穿岩脉始终的长大软弱断层。

基于以上分析表明, 辉绿岩脉在区位上严格受

控于构造应力场,伴随印支—燕山期陆内推覆造山晚期运动,辉绿岩脉侵位充填完毕,在充填过程中岩浆热液活动致使辉绿岩中辉石多蚀变成强度较低的绿泥石,在后期大地构造运动中,岩脉多次错位变形形成发育于岩脉边界的长大断层,形成了目前具有的强度低、变形大、稳定性差的典型地质特征。

4 辉绿岩脉群稳定性状况分析

4.1 厂房区长大岩脉工程地质特性评价

对照图4可知, β_9 作为 β_{80} 、 β_{81} 、 β_{163} 、 β_{164} 等岩脉的基体,为厂房区岩脉的贯穿、融合提供物质来源,其宽度较大,脉体破碎,应为厂房区岩脉发育的控制性因素,但站在工程地质角度, β_9 仅在1#、2#尾水洞、附属交通洞揭露可见,而诸如尾水洞、交通洞开挖断面尺寸往往较小,往往1~2次分级开挖即可成型,对其扰动相对较小,相应的支护手段亦容易确定。故其不再是厂房区控制性软弱带,反而在三大厂房揭露的 β_{80} 、 β_{81} 、 β_{163} 、 β_{164} ,不论从开挖断面尺寸还是工程重要程度而言,均为重点研究的控制性软弱带。

4.2 厂房区长大岩脉稳定性状况评价

主要针对厂房区其控制作用的 β_{80} 、 β_{81} 、 β_{163} 、 β_{164} 的稳定性状况予以评价。

4.2.1 β_{80}

β_{80} 仅在副厂房内出露,其出露桩号0+147.5~0+151.5m,与洞轴线呈 $77^\circ \sim 80^\circ$ 相交,宽4~5m,脉体为散体—块裂结构,延伸长,呈三壁贯通,与周围岩体呈断层式接触,上下界面分别发育断层 f_{57} 、 f_{58} ,断层厚度8~12cm,由片状岩、碎粉岩组成,属岩屑夹泥型。地下水呈滴水—线状流水。

在主厂房第I层扩挖过程中,在爆破40min后,上游边墙与顶拱交汇处的 β_{80} 岩脉发生了一定规模的垮塌,形成长39m、宽16.5m,顶部长约15m,宽约4m,高为10m的块碎石堆积体,呈倒石锥状,体积约 3000m^3 (图8)。

对塌落物形态追踪发现,块径多为0.05~0.2m、0.5~1.0m的花岗岩块体,而辉绿岩脉多呈碎屑—粉末状,可见 β_{80} 岩脉绿泥石蚀变作用明显,绿泥石作为亲水性矿物,遇水可进一步软化或泥化,力学强度极低,此时 β_{80} 岩脉自稳性极差,在爆破震动作用诱发下, β_{80} 岩脉首先自身失稳,受其结构面控制作用影响,

围岩内部力学平衡打破,周围岩体以结构面组合块体形式塌落,并引起连锁反应,其上覆组合块体不断坍塌,最终形成大规模、延时的坍塌。

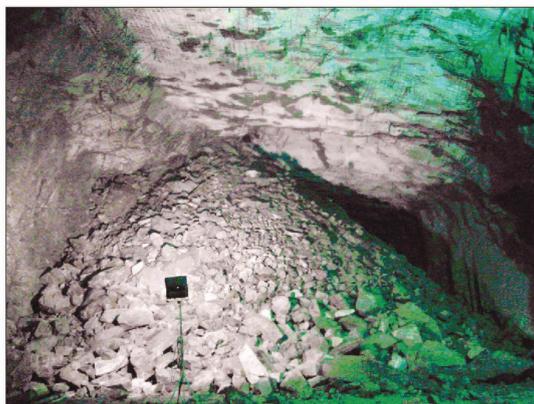


图8 β_{80} 辉绿岩脉塌方堆积体形态及规模

Fig. 8 Shape and scale of β_{80} diabase dike collapse-body

由 β_{80} 岩脉塌方事故表明: β_{80} 岩脉自稳性极差,且其发育有多条分支岩脉,属V类围岩,建议采用工字钢/型钢拱架+加强锚杆(索)+加密排水孔等支护方法。对于塌腔进行喷砼+固结灌浆回填+定向位移应力监测等手段。

4.2.2 β_{81}

β_{81} 在三大厂房区均见出露,与洞轴线大角度($70^\circ \sim 75^\circ$)相交,宽1.5~2m,脉体为块裂—镶嵌结构,三壁贯通,与围岩呈断层式接触,上下界面分别发育断层 f_{59} 、 f_{60} ,厚度5~8cm,属岩屑夹泥型。

较 β_{80} 而言, β_{81} 脉体完整性有所提高,蚀变程度不及 β_{80} ,有了一定的自稳能力(图9)。然而考

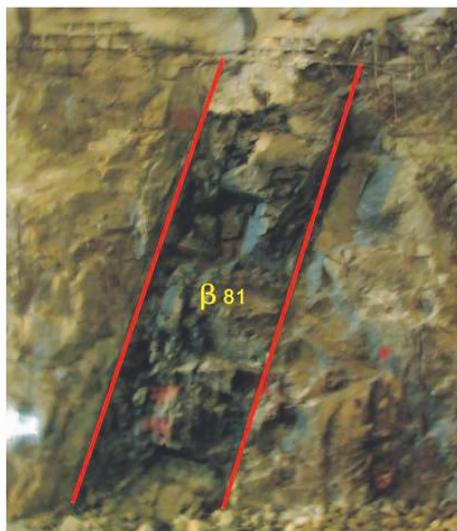


图9 β_{81} 辉绿岩脉发育形态特征

Fig. 9 Morphologic feature of β_{81} diabase dike

考虑其三大洞室均有揭露,且在开挖过程中局部掉块时有发生,现场判定为IV类围岩。建议采用钢筋网+喷砼+加强锚杆(索)+加密排水孔支护手段。

此外,在尾水调压室上游边墙(高程981m)处揭露 β_{81} 与 β_{164} 相交汇,此处脉体完整性明显较差,多呈散体-碎裂结构,蚀变特性明显,宽度可达4m,属V类围岩(图10),鉴于其在边墙发育,建议采用化学加固+喷砼+钢筋网+加强锚杆支护形式。

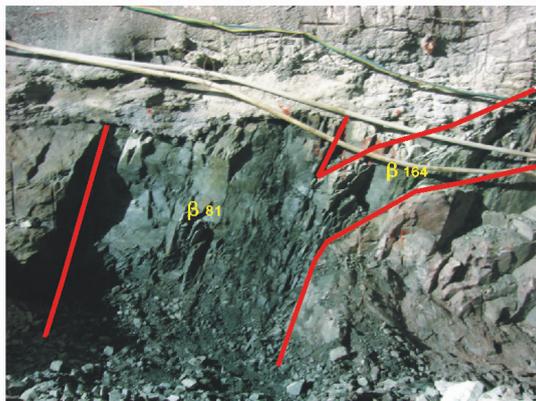


图10 β_{81} 与 β_{164} 岩脉交汇处脉体发育特征

Fig. 10 Morphologic feature of β_{81} and β_{164} intersection site

4.2.3 β_{163}

β_{163} 属 β_{80} 岩脉的分支岩脉,在主变室、安装间出露,与洞轴线斜交($45^\circ \sim 50^\circ$),与花岗岩界面为裂隙式接触,上盘局部夹有宽0.2~0.3m的花岗岩条带,脉体呈块裂结构,稳定性状况相对较好(图11),属III类围岩。考虑其完整性较好,强度相对较高,建议采用喷砼+钢筋网+加强锚杆支护形式。

4.2.4 β_{164}

β_{164} 属 β_{81} 岩脉的分支岩脉,在尾水调压室上游边墙处分支发育,最终歼灭于安装间顶拱, β_{164} 有2条近乎平行发育的岩脉组成,宽度分别为0.5~0.7m及0.2~0.3m,与围岩呈裂隙式接触,脉体呈镶嵌结构,完整性较好(图12),属III类围岩。

沿其走向发育于多条平行的长大节理,具有一定控制范围,对于 β_{164} 岩脉需着重考虑周围节理与岩脉组合关系可能引起的块体失稳。故支护建议为喷砼+钢筋网+系统锚杆+局部块体稳定性支护。

5 分析与讨论

5.1 岩脉物质组成分区段特征的讨论

对厂房区发育的各辉绿岩脉群调查发现:越靠近岩脉中央,其完整性、强度状况越好,而断层、蚀变

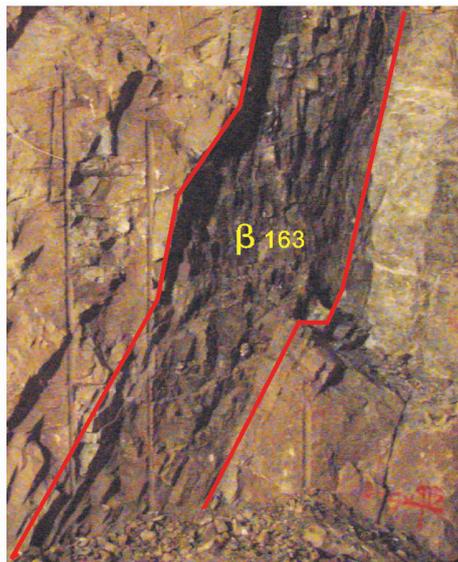


图11 β_{163} 辉绿岩脉发育形态特征

Fig. 11 Morphologic feature of β_{163} diabase dike

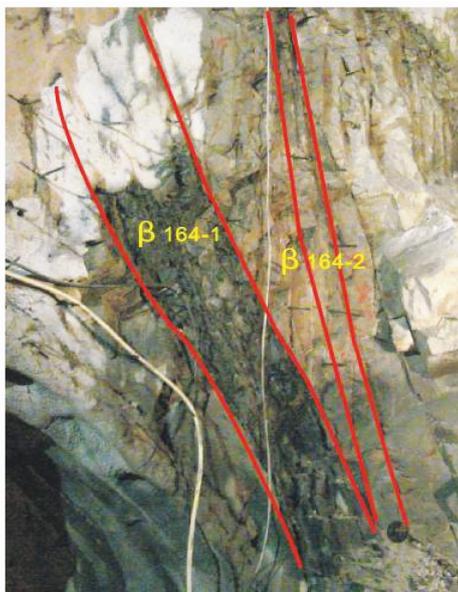


图12 β_{164} 辉绿岩脉发育形态特征

Fig. 12 Morphologic feature of β_{164} diabase dike

带往往发生其两侧边界部位,基本呈散体结构,抗剪强度极低,岩脉的力学特征呈现典型区段性;

力学特征的区段状况往往与其内部物质组密不可分,在2.5小节岩脉物质组分介绍中知,岩脉的主要矿物为基性斜长石和普通辉石,对照图6可知,其内部矿物并非均匀排列,基本特征为:斜长石构建骨架,辉石充填其中。从矿物粒径上可判定斜长石>辉石,从矿物结晶成型环境上分析,岩脉在侵位过程中,结晶温度相对较低的斜长石首先冷凝成型,形成岩脉的构造特征,而稍晚结晶的小粒径辉石逐步

充填到位。

在结晶过程同时发生的热液活动,使得岩脉靠近围岩两侧的高温具有一定的持久性,热液活动的最终结果是:一方面对辉石进行绿泥石化蚀变充填;另一方面,使得靠近边界的斜长石重新融解,并对岩脉内部的斜长石骨架充填并二次结晶,最终形成从岩脉两侧边界向中央,斜长石含量不断增加,辉石(绿泥石蚀变)逐渐递减的区段特征。

5.2 岩脉蚀变程度与形成先后关联性的讨论

对大岗山水电站地下厂房区辉绿岩脉发育特征研究还可发现:岩脉宽度越大,蚀变特征越明显,其边界往往伴随发育有长大断层和破碎带;反之,岩脉越小,越远离宽大岩脉,其蚀变性越小,强度越高。以 β_{80} 、 β_{81} 、 β_{163} 、 β_{164} 为例, β_{80} 、 β_{81} 蚀变特征远强于 β_{163} 、 β_{164} 。

对照图4,厂区内岩脉 β_9 作为各岩脉的基体形式存在,各岩脉物质来源均有 β_9 提供,从形成年代先后上判断,可初步认为: β_9 早于 β_{80} 、 β_{81} , β_{80} 、 β_{81} 早于 β_{163} 、 β_{164} 。

对岩浆热液活动的作用过程分析知,伴随着印支—燕山期陆内推覆造山运动,热液活动参与了岩脉的整个形成过程,可见,脉体形成的越早,其遭受热液蚀变越多,其完整性状况亦越差,可认为岩脉蚀变程度与形成先后呈正关联性特征。

5.3 确定性结构面空间组合关系的讨论

确定性结构面对地下厂房围岩稳定性的影响起着至关重要的作用,大岗山水电站地下厂房区确定性结构面包括辉绿岩脉及断层。国内对于断层的研究比较多,与断层不同,辉绿岩脉自身矿物成分强度较高,弹性模量大,但许多工程案例表明:辉绿岩脉出现的地段大多出现了工程地质问题。

辉绿岩脉对围岩稳定性的影响包括两个方面的内容:自身稳定性及其影响带岩体结构对围岩稳定性的影响;辉绿岩脉(断层)与随机结构面组合形成块体,从而影响围岩稳定。其中辉绿岩脉自身稳定性及其内部岩体结构对围岩稳定性有着重要的控制作用,如主厂房 β_{80} 岩脉上盘塌方区域即属于此种现象。辉绿岩脉(断层)与其他随机性结构面组合形成块体,对围岩稳定性产生不利影响,此种现象在地下厂房中较为常见。

据施工地质资料显示, β_{81} 贯穿三大洞室,其余岩脉并未贯穿三大洞室。根据块体理论有关原理,

构成有限块体至少需要3条结构面和一个开挖面的组合切割。根据Ⅲ~Ⅳ级结构面在三大洞室的分布特征,没有形成有限块体的基本条件,因此三大洞室基本不存在由Ⅲ~Ⅳ级结构面组合形成的确定性块体。

6 结 论

(1)大岗山水电站地下厂房区辉绿岩脉在区位上严格受控于构造应力场,其应为印支—燕山期陆内推覆造山晚期基性岩墙事件的产物。

(2)岩脉在形成过程时,伴随着岩浆热液活动对岩脉进行强烈的绿泥石蚀变,并在后期多次的大地构造运动中,形成了贯穿岩脉边界的长大断层,最终形成了强度低、变形大、稳定性差的典型特征。

(3)岩脉 β_9 作为整个地下厂房区各岩脉形成的基体,为绝对的控制性地质因素,但站在工程地质角度看,其并非控制性结构面,需结合工程实际情况,综合选取控制性软弱带。

(4)地下厂房区发育的长大岩脉中, β_{80} 岩脉自稳性极差,且发育有多条分支岩脉,属V类围岩,对其支护方案应重点考虑; β_{81} 具有了一定的自稳能力,为IV类围岩,但 β_{81} 与 β_{164} 交汇处稳定性较差,建议采取化学加固方法予以处理; β_{163} 、 β_{164} 岩脉稳定性相对较好。

(5)厂房区揭露的岩脉发育还具有一些典型的发育规律:脉体内部呈现明显分区段特征;岩脉蚀变程度与其形成先后呈正关联性。

(6)厂房区发生的多次塌方,都是由辉绿岩脉首先破坏引起的。可见,辉绿岩脉对大岗山水电站地下厂房的影响非常明显,整个洞室群处于花岗岩岩体中,其间穿插辉绿岩脉,导致辉绿岩脉段影响带围岩质量明显下降,对于洞室的稳定性不利。

参 考 文 献

- [1] 王幼麟,肖振舜. 软弱夹层泥化错动带的结构和特性[J]. 岩石力学与工程学报, 1982, 1(1): 37~44.
Wang Youlin, Xiao Zhenshun. The microstructure and the behavior of the mudded shear zone in weak intercalation serigraphic method of stability analysis of rock mass. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1982, 1(1): 37~44.
- [2] 魏进兵,闵虹,邓建辉. 龙滩水电站巨型地下洞室群稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(增1): 2259~2263.
Wei Jinbing, Min Hong, Deng Jianhui. Stability analysis of large-

- scale underground houses of Longtan hydroelectric project. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2003, **22** (S1): 2259 ~ 2263.
- [3] 金长宇, 张春生, 冯夏庭. 错动带对超大型地下洞室群围岩稳定影响研究[J]. *岩土力学*, 2010, **31**(4): 1283 ~ 1288.
Jin Changyu, Zhang Chunsheng, Feng Xiating. Research on influence of disturbed belt on stability of surrounding rock of large-scale underground caverns. *Rock and Soil Mechanics*, 2010, **31** (4): 1283 ~ 1288.
- [4] 康勇, 杨春和, 何正, 等. 煤系地层大跨度隧道围岩结构稳定性研究[J]. *岩土力学*, 2010, **31**(增1): 266 ~ 270, 278.
Kang Yong, Yang Chunhe, He Zheng, et al. Stability analysis of surrounding rock structure of large-span tunnel passing through coal seams. *Rock and Soil Mechanics*, 2010, **31** (S1): 266 ~ 270, 278.
- [5] A Ozsan, H Basarir. Support capacity estimation of a diversion tunnel in weak rock[J]. *Engineering Geology*, 2003, **68**(3~4): 319 ~ 331.
- [6] Santi PM. Field methods for characterizing weak rock for engineering [J]. *Environmental & Engineering Geosciences*, 2006, **12**(1): 1 ~ 11.
- [7] 贺如平, 张强勇, 王建洪, 等. 大岗山水电站坝区辉绿岩脉压缩蠕变试验研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2007, **26**(12): 2495 ~ 2503.
He Ruping, Zhang Qiangyong, Wang Jianhong, et al. Study on compressive creep test on diabasic dike at dam site of Dagangshan hydropower station. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2007, **26**(12): 2495 ~ 2503.
- [8] 覃礼貌, 许模. 某高拱坝坝基辉绿岩脉改造特征及其工程影响[J]. *防灾减灾工程学报*, 2007, **27**(2): 206 ~ 210.
Qin Limao, Xu Mo. Rebuilding characteristics of diabase-dike in a high dam foundation and its influence on engineering. *Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering*, 2007, **27** (2): 206 ~ 210.
- [9] 覃礼貌. 大岗山拱坝坝基(肩)控制性岩体结构的系统工程地质研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2007.
Qin Limao. Study on Systematical Engineering Geology of Controlling Rock Mass Structure in Dagangshan Arch Dam Foundation. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2007.
- [10] 覃礼貌, 许模. 西南某水电站坝区岩体绿泥石化蚀变及其工程对策[J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2007, **18**(1): 69 ~ 71.
Qin Limao, Xu Mo. Chloritized alteration rock mass and the engineering countermeasures in a hydropower station dam site in Southwest China. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2007, **18**(1): 69 ~ 71.
- [11] 温帅, 汪家林, 刘道华, 等. 辉绿岩脉复合灌浆试验加固效果研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2009, **28**(6): 1231 ~ 1238.
Wen Shuai, Wang Jialin, Liu Daohua, et al. Experimental research on reinforcement effect of compound grouting on diabase dike. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2009, **28**(6): 1231 ~ 1238.
- [12] 彭文彪, 陶峰. 大岗山隧道辉绿岩脉发育特征及其对施工的影响[J]. *山东大学学报(工学版)*, 2009, **39**(2): 64 ~ 67.
Peng Wenbiao, Tao Feng. The development characteristics of diabase dykes in Dagangshan tunnel and their impact on tunnel construction. *Journal of Shandong University (Engineering Science)*, 2009, **39**(2): 64 ~ 67.
- [13] 王春山, 吴山, 吴德超. 石棉县大岗山水电站坝区断裂地质特征[J]. *水土保持研究*, 2007, **14**(4): 80 ~ 81.
Wang Chunshan, Wu Shan, Wu Dechao. The geological characteristics of the faults in dagang-mountain Shimian county. *Research of Soil and Water Conservation*, 2007, **14** (4): 80 ~ 81.
- [14] 杨文东, 张强勇, 陈芳, 等. 大岗山水电站坝区辉绿岩流变特性的三轴试验研究[J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2011, **43**(5): 64 ~ 70, 101.
Yang Wendong, Zhang Qiangyong, Chen Fang, et al. Triaxial test research into rheological properties of diabase in Dagangshan hydropower station dam site. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2011, **43**(5): 64 ~ 70, 101.
- [15] 夏廷高, 孙传敏, 尹建忠. 四川挖角坝地区辉绿岩脉岩石学特征及成因研究[J]. *地质与勘探*, 2005, **41**(3): 57 ~ 61.
Xia Tinggao, Sun Chuanmin, Yin Jianzhong. The study of diabase vein petrology character and petrogenesis in Wajiaoba region of Shimian County, Sichuan province. *Geology and Prospecting*, 2005, **41**(3): 57 ~ 61.