

文章编号:1009-6582(2011)01-0160-05

涨壳式中空预应力锚杆在 TBM 法隧洞施工中的应用和改进

冯 艺¹ 石 钊² 张照太³ 王 勇⁴

(1 二滩水电开发有限责任公司, 成都 610072; 2 二滩国际工程咨询有限责任公司, 成都 610072;
3 北京振冲工程股份有限公司, 北京 100024; 4 杭州图强工程材料有限公司, 杭州 310008)

摘 要 在锦屏二级水电站引水隧洞围岩强烈至极强岩爆地段的支护施工中, 对现场原使用的涨壳式中空预应力锚杆进行了适当的改进, 以使其满足 TBM 快速施工的要求。改进后的锚杆安装迅速, 起效快, 在岩爆段和塌方段具有良好的实际应用效果。

关键词 TBM 引水隧洞 岩爆 涨壳式锚杆

中图分类号 U455.7·1 **文献标识码** A

1 概 况

1.1 工程概况

锦屏二级水电站利用雅砻江 150 km 长的大河弯, 截弯取直, 开挖隧洞集中水头引水发电。电站最大水头 321 m, 额定水头 288 m, 共安装八台混流式水轮发电机组, 单机容量 600 MW, 总装机容量 4 800 MW。锦屏二级水电站工程共有 7 条隧洞, 其中两条交通洞、一条排水洞和 4 条引水洞。4 条引水隧洞平均长度为 16.7 km, 其中的 3[#] 引水洞采用 TBM 开挖, 开挖断面直径为 12.4 m 的圆形隧洞。隧洞沿线上覆岩体一般埋深 1 500~2 000 m, 最大埋深约为 2 525 m, 具有埋深大、洞线长、洞径大等特点, 为超深埋长隧洞特大型地下水电工程。因此, 隧洞具备发生强烈至极强岩爆的条件, 现场施工时岩爆现象非常普遍。

1.2 工程地质概况

引水隧洞沿线围岩以 III、II 类围岩为主, 分别占 53.5% 和 37.5%, IV、V 类围岩分别占 8.1% 和 0.9%; 其中因岩爆引起围岩类别降级 II_b、III_b、IV_b、V_b 所占的比例分别为 19.8%、7.2%、5.4% 和 0.9%。岩爆洞段占总洞长的 33.3%, IV 类围岩占 2.7%, 引水隧洞

总体成洞条件较好。引水隧洞岩爆段地质岩性主要以 T_{2b}(白山组)灰—灰白色花斑状厚层粗晶大理岩为主, 围岩完整性较差, 节理较发育, 岩层较坚硬, 平均干燥抗压强度 82 MPa, 平均饱和抗压强度 65 MPa, 洞段围岩受高应力作用普遍破坏较严重。

1.3 岩爆情况

引水隧洞线路区地处西南高地应力区, 隧洞线高程的最大和最小主应力值分别为 70.1 MPa 和 30.1 MPa, 以自重应力为主。引水隧洞开挖过程中产生的岩爆强烈程度以轻微—中等岩爆为主, 部分地段发生强烈—极强岩爆(图 1)。



图 1 TBM 施工隧洞岩爆图片

Fig.1 Rock burst in a TBM excavated tunnel

修改稿返回日期: 2010-10-08

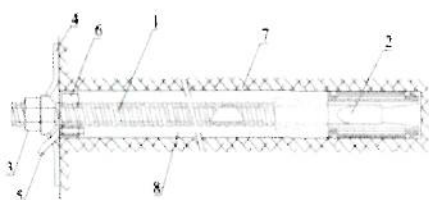
作者简介: 冯 艺(1978-), 男, 工程师, 主要从事水电工程施工与管理, E-mail: ngchen@163.com.

2 现场支护措施

由于锦屏工程特殊的地质原因, TBM 施工进度在很大程度上受岩爆和塌方的影响。为满足 TBM 快速施工的特点, 防止岩爆和围岩塌方, 现场需要及时对已开挖围岩进行锚喷支护。现场采用的锚杆主要参数如下: 顶拱 120° 范围采用 $\phi 32@1.2\text{ m} \times 1.0\text{ m}$, $L=3.8\text{ m}$ (或者 6 m) 带垫板机械涨壳式中空预应力锚杆 (预应力 $T=80\text{ kN}$, 锚杆外径 32 mm , 壁厚 6 mm)。该类型锚杆具有起效快, 同时能兼备永久和临时支护结合的作用; 其余顶拱 120° 至 270° 范围采用 $\phi 32@1.2\text{ m} \times 1.0\text{ m}$, $L=3.8\text{ m}/6.0\text{ m}$ 普通砂浆锚杆; 挂网, 网片规格为 $\phi 8@150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$, 同时喷射 $15/20\text{ mm}$ 厚的 CF30 纳米仿钢纤维混凝土封闭围岩。通过现场检验, 该支护方式效果很好, 对减弱岩爆的破坏起到了一定的抑制作用。

3 EX 型涨壳式中空 (预应力) 锚杆的构造原理

EX 型涨壳式中空 (预应力) 锚杆由钢质涨壳锚固头、中空锚杆体、垫板、螺母、注浆管组成, 必要时还可以设置止浆塞 (图 2)。



1—中空锚杆体; 2—涨壳锚固头; 3—螺母; 4—支承垫板;
5—注浆 (排气) 管; 6—止浆塞; 7—岩层; 8—注浆固结体

图 2 安装在地层中的 EX 型涨壳式中空
(预应力) 注浆锚杆

Fig.2 EX Hollow Swellex bolt installed in rock

4 锚杆的现场试验和改进

在 TBM 法施工的隧洞中, 由于其速度较快, 为保证施工安全, 要求锚杆的支护及时并迅速产生锚固力。正常情况下 TBM 掘进一个循环 (1.7 m) 耗时约为 40 min , 为了验证该类型锚杆施工速度和支护效果, 在 TBM 施工洞段进行了 200 m 长的工艺性试验。为满足 TBM 快速施工的要求, 在现场技术人员

及锚杆厂家人员共同努力下对该类型锚杆做了以下几点改进。

4.1 改进锚杆设计

(1) 涨壳头直径改进

TBM 开挖隧洞直径为 12.4 m , 锚杆支护间排距为 $1.2\text{ m} \times 1.0\text{ m}$, 每排顶拱施工锚杆数量为 12 根, 这样导致锚杆钻机使用强度较高, 为适应 TBM 快速施工, 提高钻机钻孔效率, 将原来涨壳头直径 59 mm 改为 48 mm , 涨壳头抗拉和抗剪强度不变。

改进效果: 改进前钻头直径为 64 mm , 钻孔直径为 66 mm 左右, 单孔钻进时间为 5 min 左右; 改进后采用的钻头直径为 51 mm , 钻孔直径为 54 mm 左右, 同样深度钻孔时间为 3 min , 单根钻孔时间节约 2 min 。

(2) 增加楔套

为保证垫板紧贴岩面, 根据锚杆间距和隧洞弧形专门加工了一个楔形的钢垫套 (图 3), 垫套一侧角度为 60° , 一侧与螺母对接。

改进效果: 现场试验证明, 增加楔套后, 垫板贴紧岩面, 支护效果很好。

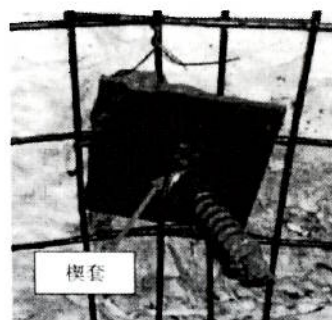


图 3 中空预应力锚杆上增加一个楔套

Fig.3 Addition of a wedge cover on swellex lock bolts

(3) 增加延伸率

为适应岩爆情况, 防止围岩冲击破坏, 给围岩一定的变形空间, 根据现场实际要求将锚杆杆体由原设计的断后深长率 6% 改为 16% , 使锚杆延伸率加大, 锚杆预应力施加值及杆体极限抗力值不变。

改进效果: 延伸率增加后给岩石一定的变形空间, 使其适应围岩变形发展, 但支护效果不变。

4.2 改进锚杆安装

由于 TBM 设备上支护平台的空间较小, 常规的下撑式气腿钻较难作业, 因此在现场对锚杆安装工艺进行了改进。

(1) 锚杆安装

通过人工和锚杆钻机配合将锚杆装入锚杆孔以后, 再采用风动扳手通过二个螺母带动锚杆体旋转来保证涨壳头的涨开, 然后依次安装垫板和螺母。

(2) 锚杆预应力施加

在施加预应力工具选择上, 原有工艺是采用空心千斤顶或扭力扳手施加, 时间较长。通过采用一定扭矩和功率的风动扳手进行预应力施加, 施工速度明显加快。现场采用扭力扳手检验校核锚杆的预应力, 施加值达到了设计要求。

4.3 改进注浆工艺

原有工艺在顶拱锚杆孔安装时要求是从排气管进浆, 中空锚杆体出浆, 以保证注浆饱满度。由于排气管直径为 8 mm, 中空杆体内径为 20 mm, 注浆速度较慢。通过查询国外的向上孔锚杆注浆工艺, 在原来通过向上孔注浆浆液自上而下返浆工艺基础上, 现场调整了水灰比, 达到了从中空锚杆体注浆, 通过注浆体本身的粘合性, 浆液自上而下地充满钻孔和杆体空隙, 达到锚杆注浆饱满的目的。

5 注浆(浆液配合比)

锚杆注浆的饱满度能否达标是锚杆是否合格的重要标准之一。中国工程建设标准化协会颁布的标准《CECS22:2005 岩土锚杆(索)技术规程》中第 8.4.2 中有“宜选用水灰比 0.45~0.50 的纯水泥浆”的叙述, 而在一些有关锚固与注浆技术的书刊中多推荐最适宜的水灰比为 0.40~0.45^[4]。笔者通过试验, 并查阅了国内外的有关资料, 认为上述注浆液的水灰比偏大, 不适于该类型锚杆的注浆, 较大的水灰比浆液虽有利于充填钻孔中的裂隙, 但也存在一些不足, 主要是:

(1) 常规推荐的水灰比注浆液固结后的强度比小水灰比注浆液固结后的强度低。美国专家 Hyett (1992)^[4]在波特兰(美国俄勒冈西北部港市)进行了大量的水泥浆注浆试验, 依据试验数据绘出了注浆体强度等与水灰比的关系(图 4, 图 5)。

图 4 描述了随着水灰比的增大, 在 28 d 中注浆体单向抗压强度和变形系数都降低。

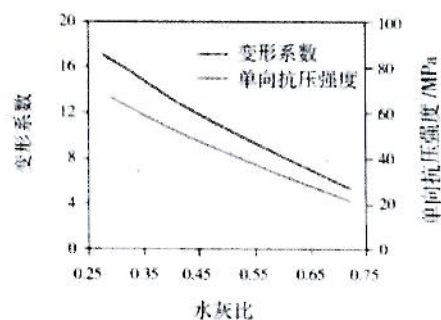


图 4 经过 28 d 注浆试验的水灰比与平均单向抗压强度及变形系数的关系曲线

Fig.4 Relationship between water-cement ratios and the average uniaxial compressive strengths and deformation coefficients after 28 days of grouting test

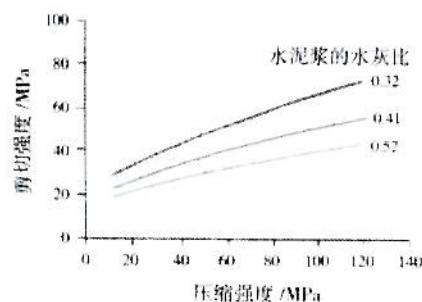


图 5 水灰比与强度的关系曲线

Fig.5 Relationship of water-cement ratios vs. strengths

图 5 给出了三种水灰比时的摩尔破坏包络线, 这个结果表明了采用水灰比为 0.35~0.4 的浆液特性比水灰比超过 0.5 的明显要好。

Hyett 在试验中也发现, 水灰比低于 0.35 时试验结果的数据其分散性明显增加, 因此较理想的水灰比应在 0.35~0.4 之间。

(2) 大水灰比注浆液凝固后的收缩率大, 注浆体与钻孔壁间易于产生缝隙, 注浆体柱本身在收缩时又会因拉应力产生裂纹, 这样既会降低锚杆安装后的抗拔力, 又会因缝隙或裂纹存在积水, 加快锚杆体锈蚀。

有试验表明, 水泥浆中的水灰比为 0.38 时, 凝固后的收缩率仅为 3.6%; 而水灰比为 0.5 时的收缩率达 6.4%。

(3) 在向上安装锚杆作业中, 注浆后卸下注浆接头时所注的浆液难免从注浆孔和排气孔中漏掉一些(即使是卸下注浆接头时立即用一个小塑料塞堵住注浆孔或是锚杆孔), 这样锚杆孔中的下部就会因

漏浆而有一段空腔,或是因下边漏浆导致顶部的浆下落致使上边局部形成空隙,造成注浆不饱满的缺陷,锚杆体上没有被注浆体包裹的部位就会早早锈蚀。

(4) 大水灰比的纯水泥浆易于沉淀析水,在注浆作业中如不连续搅拌浆液,很可能在某一时段将稀水注入锚杆孔,造成该根锚杆的失效。

(5) 大水灰比的注浆液很稀,现场注浆时工作条件差,稀浆又喷又淋,影响到操作工人的健康。

经过多次试验,若在砂浆制作过程中按照设计参数掺入河砂或者人工砂,在现场注浆过程中很容易造成堵管,这样便增加了处理堵管的时间,一定程度上影响到注浆的及时性,不适用于 TBM 快速施工工艺。因此,建议在 TBM 施工中采用纯水泥浆。经过现场多次试验后,推荐的水灰比为 0.32~0.38:1,一般在 0.34 左右比较合适,以这个水灰比搅拌出的注浆体较稠,如用手抓一把握在手上再松开,掌心朝下,注浆液会从手掌向下挂下来而不会立即从掌心落下,以这个水灰比对锚杆注浆,拔下注浆接头后注入锚杆孔内的注浆液仅从注浆孔(或是排气孔)中流淌出一点儿而不掉下来,形状像奶油状,流淌长度 2 cm 左右;若继续往外淌则表示注浆体水灰比过大,浆液偏稀。采用从杆体注浆的工艺要求注浆的水灰比一定要控制在上述要求范围内,才可以实现注浆饱满效果。

6 与其他锚杆特点对比

(1) 普通砂浆锚杆

起效慢,且不能很快施加预应力,一般属于被动支护,对硬岩的支护效果不明显,注浆体饱满度较难保证。

(2) 早强水泥药卷锚杆和树脂药卷锚固实心锚杆

虽比普通砂浆实心锚杆有所改进,可适用地层范围扩大,并能迅速形成锚固力,但锚固浆体饱满度及钢筋保护层厚度因构造方面问题依然难以保证,影响锚杆体的可靠性,多用于临时支护。

(3) 水胀式锚杆和管缝式锚杆

利用杆体与孔壁而摩擦形成支护力,能即时产生锚固力,属于非注浆锚杆,一般仅适用于临时支护和良好岩层中。

(4) 楔缝式锚杆

可施加一定预应力,即时支护效果较好,一般是在锚杆安装完后再进行灌浆,排气较困难,饱满度差,较普通砂浆锚杆还低,常常应用于临时支护中。

综合考虑各种因素,涨壳式预应力中空注浆锚杆具有施工速度快,能够及时对岩体施加预应力,提高岩体软弱结构面与潜在滑移面的抗剪强度,适用于 TBM 快速施工的特点,既能起永久支护功能,又能兼具临时支护作用,是一种临时和永久支护技术合二为一的解决方案。

7 结 论

涨壳式锚杆在 TBM 施工隧洞中顶拱部位(120°)的应用效果较好,能够起到及时、安全的支护作用,适应于 TBM 快速施工的特性。TBM 施工中在隧洞开挖后及时施做该类型锚杆,通过及时施加预应力,迅速改变由于洞室开挖而造成的洞壁应力状态,部分恢复其径向应力约束,及时提供了支护抗力,增加了径向围压,改善了岩体的物理力学性能。通过后期中空注浆,在进一步防止预应力损失及锚杆锈蚀的基础上,有效抑制和降低了岩爆的发生、发展,削弱了岩爆的破坏程度。经过现场的生产应用,该类型锚杆对岩爆段的预防、减少塌方段塌方具有一定的积极作用。

参考文献

References

- [1] 程良奎,等.岩土锚固[M].北京:中国建筑工业出版社,2003
Cheng Liangkui, etc., <Rock & Earth Anchoring>, Construction Publishing House of China, 2003
- [2] Dr. Evert Hoek, Practical Rock Engineering—Rock bolts and cables, 1998.
- [3] 吴德兴,王 勇.EX 涨壳式预应力中空注浆锚杆的开发与应用[C].岩土锚固技术与工程应用论文集,北京:人民交通出版社,2004
Wu Dexing, Wang Yong "Development and Application of EX Swelling Pre-stress Grouting Anchor", <Technology of Rock & Earth Anchoring and the Engineering Application>, People's Communication Publishing House, 2004

Application and Modification of Swelling Prestressed Bolts in a TBM Excavated Tunnel

Feng Yi¹ Shi Zhao² Zhang Zhaotai³ Wang Yong⁴

(1 Ertan Hydropower Development Company, Ltd., Chengdu 610072;

2 Ertan International Engineering Consulting Co., Ltd.(ETI), Chengdu 610072;

3 Beijing Vibrofloatation Engineering Co., Ltd., Beijing 100024;

4 Hangzhou Dohrive Engineering Materials Ltd., Hangzhou 310008)

Abstract Considering the supporting work on a section of Jinping II Diversion Tunnel under extremely intensive rock burst geological condition, some appropriate improvements on the existing swelling pre-stressed bolts were performed so as to meet the requirements of rapid driving of TBM, i.e. such improved bolts need to be quickly installed and worked effectively when applied on rock burst and collapse sections.

Key words TBM tunnelling; Large overburden tunnel; Swellex rock bolt

(上接第 152 页)

参考文献

References

- [1] 周文波. 盾构法隧道施工技术及应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004
Zhou Wenbo. Shield Tunnelling Technology [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2004
- [2] 城市测量规范[S]. 北京: 中国建筑工程出版社, 1999
Code for Urban Survey [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1999
- [3] 武汉测绘科技大学. 测量学[M]. 北京: 测绘出版社, 1996
Wuhan Technical University of Surveying and Mapping. Surveying [M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 1996
- [4] 刘建航, 侯学渊. 盾构法隧道[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1991
Liu Jianhang, Hou Xueyuan. Shield Tunnelling [M]. Beijing: China Railway Press, 1991

A Vertical-jacking Pipe Based Surveying Technique

Yu Yongming¹ Ji Jun²

(1 Shanghai Tunnel Engineering Co., Ltd., Shanghai 200238; 2 Shanghai Qingcaosha Raw Water Co. Ltd., Shanghai 202150)

Abstract Taking the 7.2 km long river-crossing raw water supply tunnel as the background, this paper introduces a vertical-jacking pipe based surveying technique which guarantees smooth break-through of the shield tunnel, including the piercing error prediction, plane transfer, height transfer and indoor computation work etc..

Key words Water-intake shield tunnel; Vertical-jacking pipe; Connection survey; Error of piercing

雪峰山隧道贯通

2月6日, 向莆铁路雪峰山隧道左线贯通, 比原计划提前53天完成。春节前夕, 隧道右线贯通。至此, 经过800多个日夜的奋战, 向莆铁路雪峰山隧道全线贯通。

向莆铁路经过将乐境内43.3 km, 境内长短隧道共14条, 全长25.296 km。由中铁十八局福建公司负责施工的雪峰山隧道全长17.892 km, 为特长隧道, 设计为单线双洞, 是向莆铁路控制性工程。

(来源: 福建日报)