

文章编号: 1000-7598-(2005)增刊-033-03

浙江三门核电厂人工高边坡稳定性评价

陈建峰¹, 孙立川², 石振明¹, 张雷¹, 沈明荣¹

(1. 同济大学 地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 河北中核岩土工程有限责任公司, 石家庄 050021)

摘要: 拟建浙江三门核电厂人工边坡长约 180 m, 边坡最高约 53 m。该边坡坡脚与拟建的核岛、常规岛或其他重要建(构)筑物之间的距离仅为 50 多米, 故需对边坡的稳定性进行评估。采用工程地质类比法、赤平极射图解析法及 MARC 有限元对拟建边坡进行稳定性评价, 认为边坡总体开挖角不大于 60° 时, 整体上是稳定的。建议实际开挖坡角 55° 左右, 采用分级放坡, 边坡阶段高度可按 8.0~10.0 m 考虑, 马道宽度 3.0 m 左右, 并设截水沟等排水设施。

关键词: 边坡; 稳定性评价; 工程地质类比法; 赤平极射图; MARC

中图分类号: TU 457

文献标识码: A

Stability evaluation of high rocky slope of Zhejiang Sanmen Nuclear Power Plant

CHEN Jian-feng¹ SUN Li-chuan² SHI Zhen-ming¹ ZHANG Lei¹ SHEN Ming-rong¹

(1. Dept. of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Geotechnical Engineering Co. Ltd of Nuclear Industry of China, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: A nuclear power plant is to be constructed in Sanmen county of Zhejiang Province, where there will be a rocky slope with length of about 180 m and the maximum height of about 53 m. The distance between the slope toe and the nuclear island is about 50 m; so the stability of the slope should be evaluated. This paper applied engineering geological analogy method, stereographic projection method and finite element program MARC to evaluate the rocky slope stability. It is concluded that the slope is overall stable when the slope angle is smaller than 60°. The slope angle 55° or so is suggested for practical engineering; and grade sloping should be carried out with the height of every segment 8.0-10.0 m and the width of berm about 3.0 m.

Key words: slope; stability evaluation; engineering geological analogy method; stereographic projection; MARC

1 场区地质条件

浙江省三门核电厂厂址位于浙江省沿海中部台州地区三门县健跳镇北约 6 km 的猫头山嘴半岛娘娘殿岗上。边坡位于核电厂址西端, 边坡走向 NW30°, 长约 180 m, 拟定坡脚高程为 11.70 m, 人工边坡坡高约 53 m。该边坡坡脚与拟建的核岛、常规岛或其他的重要建(构)筑物之间的距离仅为 50 多米, 故需对边坡的稳定性进行评估。图 1 为核电厂厂址工程地质图。

该工程边坡的主要岩性为上侏罗统茶湾组下段凝灰质砂岩 (J_3C^{1-2-1}) 以及玻屑凝灰岩 (J_3C)。凝灰质砂岩层厚为 10~50 cm, 水平层理清晰, 层理产状: 走向 N290° W, 倾向 S200° W, 倾角 14°, 地表 3.5~17 m 以下的微风化岩体较完整, 多为大于 1 m 的巨厚层。

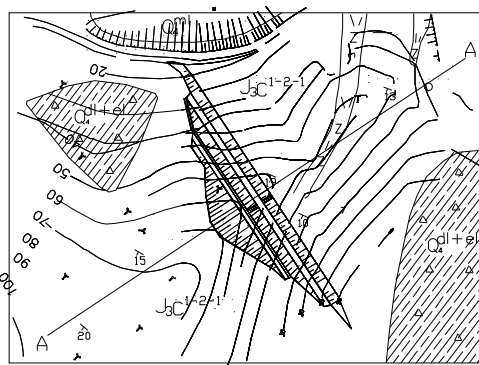


图 1 厂址工程地质图

Fig.1 Engineering geological map of rocky slope

修改稿收到日期: 2005-05-08

作者简介: 陈建峰, 男, 1972 年生, 工学博士, 副教授, 从事岩体工程教学和科研工作。E-Mail: jf_chen@mail.tongji.edu.cn

根据边坡区岩体的岩性、结构与强度,可将其划分为如下几个工程地质岩组:(1)坚硬完整的凝灰质砂岩:微风化~新鲜岩体,该组岩体是边坡的主体,根据岩石室内试验成果,其饱和单轴抗压强度为 105.4 MPa,属坚硬岩类,对人工边坡稳定有利。(2)中风化凝灰质砂岩:一般在坡积层及强风化以下,厚度一般 10 m 左右,最厚 13 m。室内试验其饱和单轴抗压强度为 85.05 MPa,属坚硬较破碎岩类。(3)残坡积层:包括残积、坡积及强风化凝灰质砂岩。分布于斜坡表层,厚度不一,一般 3.5~17.0 m 左右。

图 2 为节理走向玫瑰图,图 3 为节理倾向和倾角玫瑰图(虚线表示倾向,实线表示倾角),由图可见,边坡岩体主要发育有 NWW、NNW 两组陡倾结构面及一组缓倾层理面。缓倾的层理面倾角最大达 20° 左右,为最易产生滑动的角度,但其倾向与人工边坡倾向相反,无沿该结构面整体滑动的可能。NWW、NNW 向结构面和缓倾的层理结构面组合,将岩体切割成斜方体,特别在微风化岩体以上的中风化及强风化岩体,局部被切割成碎块状,构成局部破碎。依据钻探及孔内原位测试资料,深部岩体结构面较少,连通性差,岩体为整体结构。

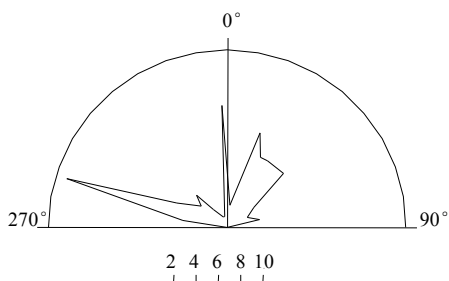


图 2 节理走向玫瑰图
Fig.2 Rose map of joint strike

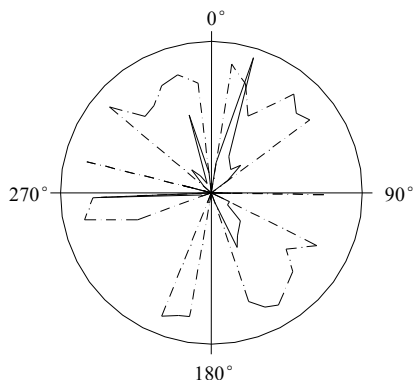


图 3 节理倾向、倾角玫瑰图
Fig.3 Rose map of joint trend and pitch angle

2 边坡稳定性评价

为了准确评价边坡稳定性,一般采用定性分析与定量计算结合的方法,定性分析方法有工程地质类比法和图解法,定量分析方法有极限平衡法及有限元分析等^[1]。依据本区人工边坡地段的地质条件及人工边坡破坏模式,除两种常用的定性分析方法外,在定量稳定性计算中采用二维有限元法进行计算评价。

2.1 工程地质类比法

通过对勘测区天然边坡的调查,该区自然边坡普遍较缓,一般坡角为 15°~35° 之间,仅在山脊北侧,可见较陡的自然边坡及筑路开挖的人工边坡,坡角一般在 45°~70° 之间,坡高 4~15 m,但其走向与人工边坡走向接近垂直,不具直接可比性。

根据调查,与人工边坡坡向一致的自然边坡坡度较小,测区内其坡度未见超过 35° 者。一是勘测区属鞍部地形,沿山脊走向坡度较缓;二是在长期的地质营力作用下,形成这种趋于稳定的缓坡形态。考虑岩体的结构面组合特征,其 NE、NW 均具优势,而山体北侧自然坡角为 45°~60°,且长期处于稳定状态,可将该值作为工程类比的对象。因此,人工边坡坡角可在 45°~60° 之间考虑。

2.2 图解分析法

借助赤平极射投影可直观地分析各种结构面组合与边坡坡面的空间关系,确定最不利结构面组合,为稳定性分析提供边界条件。对人工边坡作赤平投影图,见图 4(边坡坡角按 55°, 60° 给出)。

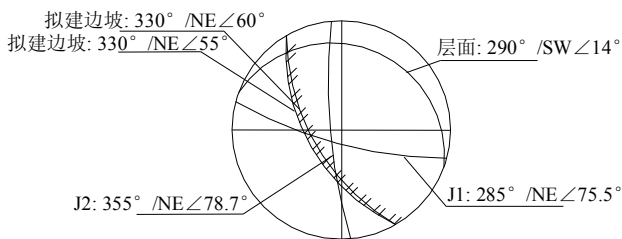


图 4 厂区边坡赤平极射投影图
Fig.4 Stereographic projection map of the rocky slope

根据赤平投影图,两组高倾角结构面与人工边坡走向垂直或大角度相交,不构成滑移面,只作为结构体的边界。缓倾层理面与人工边坡倾向相反,也不构成潜在滑移面。可见该边坡上没有向临空面滑动的结构面的不利组合,按极限平衡条件来分析,坡角不超过 60° 时,边坡是稳定的。

2.3 有限元数值模拟

Marc 是国际上通用的非线性有限元分析软件^[2]，这里采用 Marc 软件对拟开挖边坡建模并进行计算分析。按图 1 中 A-A'剖面取平面二维模型，边坡形状根据等高线和比例尺确定，几何模型见图 5。岩层根据钻孔柱状图确定，共分为 4 个地层：强风化凝灰质砂岩、中等风化凝灰质砂岩、微风化凝灰质砂岩和微风化玻屑凝灰岩。边坡坡角为 60°。采用三角形网格单元进行自动划分。由于结构面倾向与边坡倾向相反，对边坡稳定性没有影响，故不考虑结构面的接触单元问题。

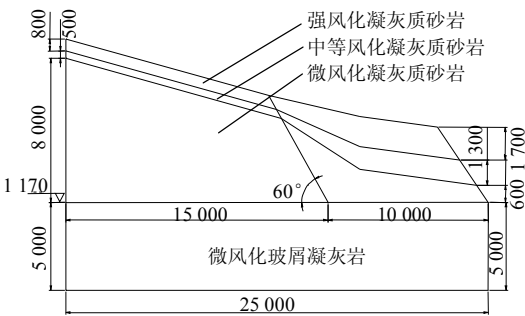


图 5 拟开挖边坡几何模型（单位：cm）
Fig.5 Geometry model of the slope to be constructed(unit:cm)

计算采用线弹性模型。鉴于微风化玻屑凝灰岩室内弹性模量较高，且大于微风化凝灰质砂岩，但又考虑到该层岩体有凝灰质砂岩薄层，故其弹性模量和泊松比按微风化凝灰质砂岩取值，即这两层在计算中按一种材料计算。强风化凝灰质砂岩参数按 V 类岩体参考取值，其弹性模量为 150 MPa，泊松比为 0.42，重度为 23 kN/m³；中等风化凝灰质砂岩取室内岩石力学试验参数最小值，弹性模量为 1.39 × 10⁴ MPa，泊松比为 0.16，重度为 24.6 kN/m³；微风化凝灰质砂岩取室内岩石力学试验参数平均值中的最小值，弹性模量为 2.44 × 10⁴ MPa，泊松比为 0.13，重度为 25.0 kN/m³。

图 6，图 7 分别为开挖后垂直方向和水平方向位移分布图，图 8 为开挖后剪应力分布图。

由图可见，开挖后垂直位移、水平位移量都很小，厂坪地面最大垂直位移（隆起）为 1.6 mm。开挖后在坡脚位置剪应力集中，最大值为 435 kPa，该值远小于该处岩体的抗剪强度。

3 结 语

针对工程地质特点，采用工程地质类比法、赤平极射图解分析法及有限元法对该人工高边坡进行

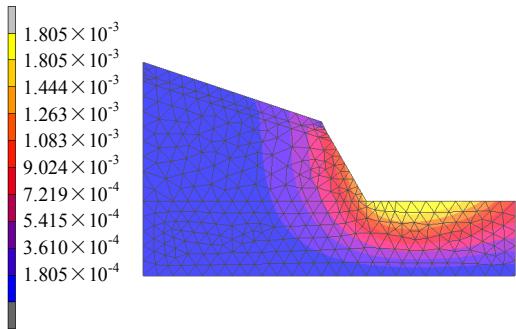


图 6 开挖后垂直位移分布图(单位：m)
Fig.6 Distribution of vertical displacement after construction

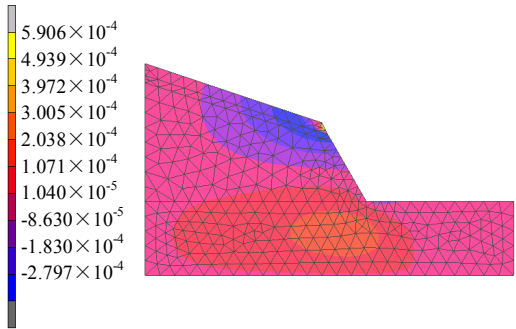


图 7 开挖后水平位移分布图(单位：m)
Fig.7 Distribution of lateral displacement after construction

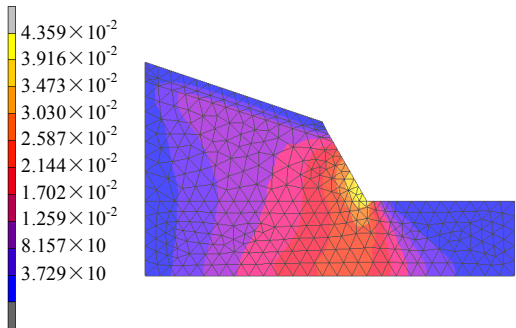


图 8 开挖后剪应力分布图(单位：kPa)
Fig.8 Distribution of shear stress after construction

稳定性综合评价，认为边坡总体开挖角不大于 60° 时，整体上是稳定的。建议实际开挖坡角 55° 左右，采用分级放坡，边坡阶段高度可按 8.0~10.0 m 考虑，马道宽度 3.0 m 左右，并设截水沟等排水设施。

参 考 文 献

[1] 张有天. 岩石高边坡的变形与稳定[M]. 北京：中国水利水电出版社，1999.
[2] 陈火红. Marc 有限元实例分析教程[M]. 北京：机械工业出版社，2002.