文章编号: 1006-5539(2004)02-0053-04

Clinsulf-SDP 硫磺回收自控特点及原理

谭志强[1], 罗 斌[2], 陈小波[2]

(1. 中油西南油气田分公司重庆天然气净化总厂, 重庆 401259;
2. 中油西南油气田分公司重庆天然气净化总厂垫江分厂, 重庆 408323)

摘 要: Clinsulf-SDP 硫磺回收工艺是目前比较先进的克劳斯延伸工艺之一, 是我国引进的第一套, 也是世界上第二套工业化装置。该工艺过程简洁明了, 但控制相对复杂。文章将重点介绍 Clinsulf-SDP 硫磺回收装置的控制思想, 进一步剖析各个控制环节的基本特点, 通过对该控制方案的介绍、分析, 有助于我们认识 Clinsulf-SDP 硫磺回收装置控制思想的先进性。

关键词: 自控特点; 原理; 介绍
中图分类号: TE644 文献标识码: A

1 工艺说明

Clinsulf-SDP 硫磺回收技术是重庆天然气净化总厂垫江分厂 2002 年的引进项目, 该硫磺回收装置由热转化段和催化转化段两部分构成。热转化段采用的是 Amoco 公司许可的经过改良的 Claus 技术, 催化转化段采用的是 Linde AG 的两级反应器 Clinsulf-SDP(亚露点)技术。在生产过程中这两级转化器处于不同的工作状态, 其中一级为"热态"(再生或解吸状态), 另一级处于"冷态"(SDP 操作或吸附状态), 在一定条件下两级转化器通过四通阀进行"热态"与"冷态"的状态切换。两级转化器的催化剂装填结构形式相同, 在转化器等温段的上层装有一层 TiO_2 成份催化剂, 该催化层在温度大于 315 ℃条件下, 对 COS 和 CS_2 进行高效的水解反应。在转化器的等温段内装填的是铝基催化剂, 该催化剂不仅具有高效的催化反应活性, 而且在低温状态下对硫蒸汽有很强的吸附能力。"热态"转化器床层中的各点温度在硫的露点之上, 这就保证了高温水解反应所需足够高的温度又兼顾了克劳斯放热反应所放出的热量被及时取走, 使反应进行更彻底; 而"冷态"转化器床层除绝热段外其余各点温度则在硫的亚露点状态下, 有利于装置收率的提高。该装置工艺流程为: 自脱硫装置来的酸气经过分离器 D-1401 除去游离水分后, 进入酸气预热器 E-1406, 在酸气预热器中, 酸气将被加热至 226 ℃左右, 加热的大部分酸气进入燃烧炉 H-1401 的主燃烧室(如果酸气中硫化氢含量超过 40%可全进炉)与来自主风机 K-1401 A/B 经过 E-1407 预热器加热的热空气发生燃烧反应, 少部分酸气(正常操作条件下约为 11%)直接进入燃烧炉的二次燃烧区。从燃烧炉出来的高温过程气经过废热炉 E-1401 冷却至 405 ℃后, 进入一级硫磺冷却器 E-1404 冷却至 132 ℃, 分离出过程气中的硫蒸汽后进入一级再热器 E-1402, 过程气在一级再热器中被加热至 255 ℃, 被加热的过程气进入"热态"转化器, 在转化器绝热段的催化剂作用下发生 Claus 反应, 使过程气的温度进一步升高, 由于转化器绝热段中装填有对 COS 和 CS_2 水解性能好的 TiO_2 成份催化剂, 使热转化段生成的有机硫在此绝热段得到充分的水解。经过此绝热段之后, 将使过程气的温度升高至约 350 ℃, 在此温度下进入"热态"转化器 R-1401A(或 R-1401B)下部的恒温段, 过程气在略高于硫露点温度(286 ℃)条件下发生 Claus 反应。生成的液态硫从转化器底部离开系统, 尚未转化的过程气和气态硫通过二级硫磺冷凝器 E-1405 进行

收稿日期: 2003-06-12; 修回日期: 2003-07-21
作者简介: 谭志强(1960-), 男, 四川广安人, 高级工程师, 学士, 1982 年毕业于华东石油学院自动化系, 主要从事天然气净化自控技术及管理。电话: (023)40492062。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

冷凝,冷凝分离出的液态硫离开系统,冷却后的过程气经过二级再热器 E-1403 加热至 198 ℃后,进入处于"冷态"的转化器 R-1401B(或 R-1401A),在转化器的绝热段进行 Claus 反应,因此处绝热段温度较低,故在此绝热段不会发生水解反应,然后经过转化器下部的恒温段,该部分通过冷却盘管使反应器的床层的温度降低到约 125 ℃左右,在绝热段生成的硫磺在等温段被吸附在铝基催化剂上,从"冷态"转化器出来的尾气进入尾气灼烧炉 H-1403,在约 600 ℃左右的条件下进行充分地灼烧,然后经烟囱 X-1402 排放到大气。工艺流程简图如图 1 所示:

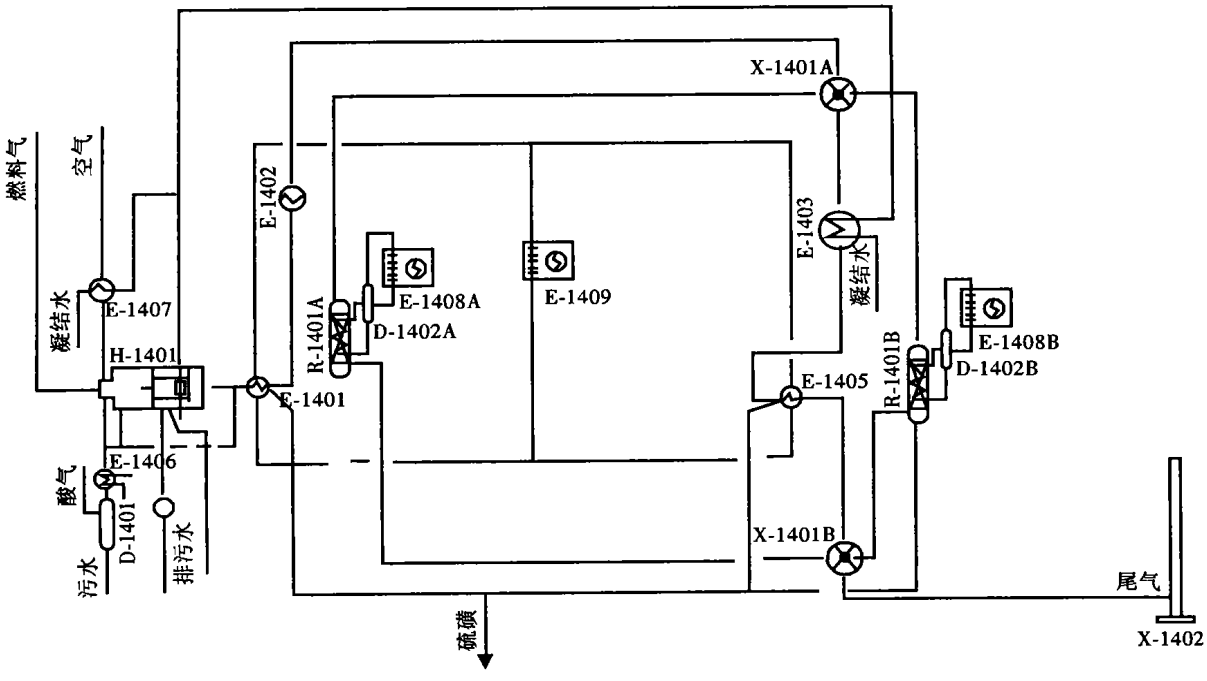

图 1 Clinsulf-SDP 工艺流程简图

2 自控特点

装置控制系统由室内 DCS 系统和现场 BMS 燃烧管理系统两部分组成,DCS 系统主要实现生产过程控制、逻辑程序控制和 ESD 联锁控制;BMS 主要负责燃烧炉点火操作管理等工作。自控特点主要有:a)过程尾气中 H_2S 含量和 SO_2 含量的 2∶1 控制,该控制系统采用前馈—串级调节控制方案,构成了过程尾气中 H_2S/SO_2 含量比与空气流量的串级调节系统;b)在低负荷需求状态下通过采取控制离心式鼓风机进出口管线及放空管线上的调节阀来避免风机的喘振;c)燃烧炉的炉膛温度控制采取变比值调节控制方案;d)反应器床层温度的变频压力控制;e)四通阀切换的逻辑程序控制;f)完善的紧急联锁停车系统 ESD;g)点火过程 BMS 的半自动化管理;h)燃烧状态 BMS 的管理。

3 过程控制回路原理

3.1 进炉空气量的闭环控制

克劳斯反应表明:当硫化氢与二氧化硫的含量比在过程气中保持 2∶1 时,装置就具备了高转化率的最佳条件。能否使过程气中的硫化氢与二氧化硫的含量比达到 2∶1,关键取决于进炉空气流量的准确控制。对于本装置而言,决定进炉空气流量的因素有:酸气流量、酸气组分含量,燃料气流量,燃料气组分含量,从这些干扰因素的变化、控制角度两方面考虑,除酸气流量及其组分含量不能控制和确定之外,其余均能控制和确定。鉴于这一点本装置进炉空气流量采取前馈—反馈调节控制方案,该方案实现了进炉空气流量前馈控制的快速粗调和 2∶1 反馈的细调。方案中以硫化氢与二氧化硫的含量比作为被调参数,并把酸气流量和燃料气流量作为可测量的干扰,前馈调节是按照可测量的酸气和燃料气量

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

干扰作用进行调节的开环系统，它不需要等到干扰影响到被调参数后再来调节，即不必等到硫化氢与二氧化硫的含量比偏离 2∶1 时才产生调节动作，就能及时地克服干扰的影响。因此，前馈调节具有调节速度快的特征，能及时地根据酸气流量和燃料气流量的变化快速地改变燃烧 1/3 酸气和进炉燃料气所需的空气流量，实现了空气流量的粗调控制。虽然前馈调节系统具有快速调节的特点，但是前馈调节系统对酸气组分含量的变化没有丝毫的调节能力，因此，仅仅采取前馈控制措施是不能够满足高精度的控制要求，故在方案中引用了反馈控制来弥补前馈调节系统对酸气组分干扰所不能调节的缺点。反馈部分主要是根据过程尾气中硫化氢和二氧化硫的含量比信号来进一步修正粗调过程中的空气流量，实现了空气流量的细调控制。进炉空气控制方案如图 2 所示：

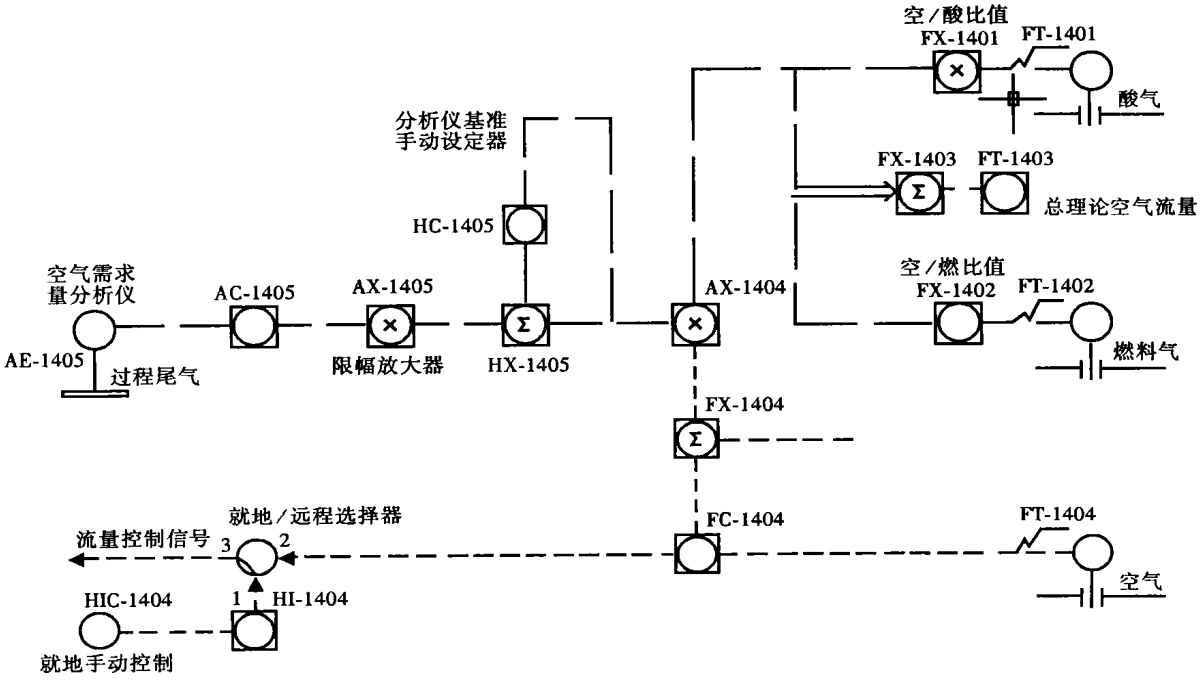

图 2　空气控制方案图

3.2　鼓风机防喘振控制

一般情况下，离心风机喘振是因为负荷减小，风机的入口流量小于该工艺工况下特征曲线的喘振点流量。风机喘振是很危险的，轻则造成出口压力大幅度波动，重则造成风机部件的损坏。因此，在低负荷运行状态下控制进口流量大于该工况下特征曲线的喘振流量是避免风机喘振的根本措施。

装置鼓风机防喘振的控制方案如图 3 所示：

从图 3 中可以看出，这是个典型的分程控制方案。通过控制风机进出口管线上的阀组，实现了在小负荷运行状态下风机进口流量大于喘振临界流量，避免了风机的喘振。当进炉风量为大负荷（流量调节器的控制信号为 100％～50％）时，出口调节阀全开，放空调节阀全关，这时鼓风机的进口流量恒等于进炉空气流量，进炉空气量控制只需调节进口阀；当进炉风量为中负荷（流量调节器的控制信号为 50％～25％）时，放空调节阀关闭，进、出口调节阀处于调节状态，风机出口侧压力将有所上升，这时鼓风机的进口流量仍等于进炉空气流量，进炉空气量控制通过调节进、出口调节阀；当进炉风量为小负荷（流量调节器的控制信号为 25％～0％）时，进口调节阀固定在 25％的开度位置，放空、出口调节阀将处于调节状态，风机出口侧压力将进一步提高，这时

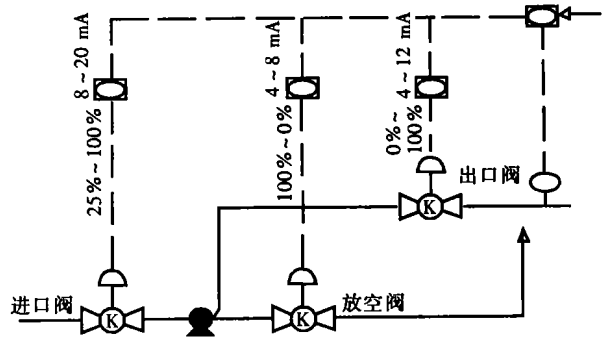

图 3　鼓风机防喘振控制方案图

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

鼓风机的进口流量大于进炉空气流量同时也大于该工况下的喘振极限流量，进炉空气量的调节通过控制出口阀和放空阀来完成。

调节过程中各调节阀的动作关系曲线图如图 4 所示：

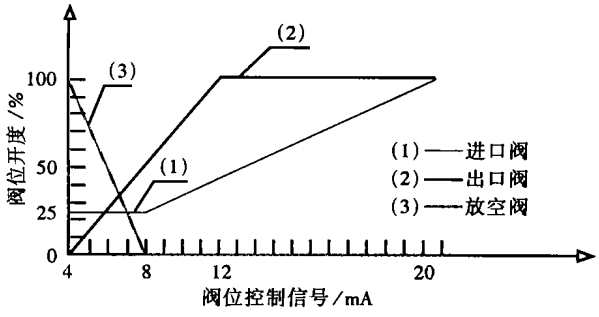

图 4 调节阀分程动作关系曲线

3.3 转化器切换的程序控制

Clinsulf-SDP 硫磺回收装置的两级反应器在任何时刻均处于不同的工作状态，其中前级反应器工作于“热态”，后一级反应器工作于“冷态”。“冷态”反应器运行一段时间后催化剂的吸附能力随着吸附量的增加而降低，为使装置长期处于高收率状态，一方面两级反应器必须按吸附量进行位置交换；另一方面反应器必须在四通阀转动之前大约 1.5 h 启动预冷步骤。反应器切换以进炉空气累积量和“热态”反应器出口温度为条件。启动预冷步骤的基本条件是：当回收装置进炉空气的累积量等于 1 143 kmol 时，“热态”转化器将执行预冷操作步骤，同时一级预热器、二级预热器温度控制回路的设定值相互交换。在此过程中，“热态”转化器蒸汽包的压力控制设定值将在 30 min 时间间隔内按下列斜率线性地改变（6 700 kPa $\xrightarrow{30\ min}$ 800 kPa $\xrightarrow{30\ min}$ 600 kPa $\xrightarrow{30\ min}$ 440 kPa $\xrightarrow{30\ min}$ 310 kPa $\xrightarrow{30\ min}$ 210 kPa $\xrightarrow{30\ min}$ 130 kPa）；一级预热器的温度设定值由原来的 255 ℃自动地改变为 198 ℃；二级预热器的温度设定值由原来的 198 ℃自动变为 255 ℃。在预冷过程中，当热态转化器的出口温度等于 200 ℃时，转化器切换条件具备。四通阀完成 90° 的转动，实现了 R-1401A、R-1401B 转化器位置变换；在四通阀转动的同时控制系统还自动地完成了以下操作：“冷态”反应器的压力设定值由原来的 130 kPa 自动地改变为 6 700 kPa；一级预热器的温度设定值由原来的 198 ℃自动地改变为 255 ℃；二级预热器的温度设定值由原来的 255 ℃自动地改变为 198 ℃。

3.4 反应器床层温度的控制

反应器的温度控制是通过控制反应器冷却盘管密闭循环系统的蒸汽压力来实现的。由于反应器冷却盘管的蒸汽压力与反应器等温段催化剂床层温度有着相互对应的关系，因此选择温度或者压力均能够实现反应器床层温度的控制。然而从温度、压力两参数的变化特征来看，由于压力变化速率优于温度参数，故在控制方案上选择蒸汽包的压力作为被调参数的控制方案，通过调节压力有利于快速地克服其它干扰对转化器床层温度的影响。

4 结束语

通过近半年时间的运行，考察 Clinsulf-SDP 硫磺回收装置整体运行情况良好。收率数据表明，该装置收率高于设计期望值 99.2%。但是，由于该系统高温、高压部位较多，装置运行过程中蒸汽的泄漏现象时有发生，给我们的正常生产管理带来许许多多的不便。此外，系统另一个不足之处是，在反应器切换的瞬间容易引起酸气量大幅度的波动，这种变化一是造成尾气灼烧炉及烟囱胴体在短时间内的超温；二是有可能导致燃烧炉熄火故障引起装置的联锁停车。

盐水沟隧道顺利贯通

中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司设计的克拉 2 气田地面建设工程外输管道盐水沟隧道，全长为 1 984.7 m，经过西南分公司精心设计和现场优质服务及技术支持，通过 150 余天的艰苦施工，于 2004 年 4 月 14 日上午 12:00 顺利贯通，比预定工期提前 15 天。

盐水沟隧道作为“西气东输第一隧”，是西气东输上游主力气源克拉 2 气田地面建设工程中的控制性工程，也是目前我国石油天然气行业中最长的陆上隧道。其顺利贯通对于加快克拉 2 气田开发建设和确保西气东输按时向上海供气具有重大政治意义和社会意义。

中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司 谢雅萍

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

SELECTED ABSTRACTS

NATURAL GAS AND OIL
(QUARTERLY)
Vol.22 No.2(Total No.196)Jun. 2004

ABSTRACT: LNG is a colorless, tasteless, non-poisonous and non-corroding gas. Its volume when it is gaseous is 600 times than it is liquid. It is an effective supply form of natural gas. Described are equipments and process flows applied in Baoying LNG filling station, standards followed, some considerations and useful solutions during station construction.
KEY WORDS: LNG; Gas supply station; Construction

CORROSION AND CORROSION CONTROL

Reason Analysis on Corrosion in Oil Tank Wall and Countermeasure

Zhang Minghua (PetroChina Chemical Co. Changling Refining Company Oil and Port Department, Yueyang, Hu'nan, 414013, China) **NGO**, 2004, 22(2): 32 ~ 33
ABSTRACT: Analysis is made on wall corrosion in 14 # crude oil tank of Changling Refining Company Oil and Port Department. The results show that this corrosion is caused by water entering the insulating layer. After oil tank structure was reformed, the rigorousness of oil tank protective layer has been improved and above-mentioned problems have been solved effectively.
KEY WORDS: Oil tank; Oil tank wall corrosion; Crude oil analysis; Countermeasure

OIL & GAS TREATING AND PROCESSING

Application of Clinsulf-SDP Sulfur Recovery Process in Dianjiang Branch Plant

Du Tonglin, Peng Lei, Zhou Ping (China Petroleum Engineering Co., Ltd. Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610017, China) **NGO**, 2004, 22(2): 34 ~ 36
ABSTRACT: Described are design, acceptance test and operation of Clinsulf-SDP unit in Dianjiang Branch of Chongqing Natural Gas General Purification Plant. Analyzed are some problems occurring during operation and stated are some knowledge to the unit.
KEY WORDS: Clinsulf-SDP process; Acceptance test; Operation; Reason; Knowledge

Development of Dual Purpose Oil for Tractor Transmission and Hydraulic System

Han Deqi, Xue Longyu, Guo Lili, Sun Suhong(He'nan Oil Exploration Administration Nanyang Wax Fine Chemical Plant, Nanyang, He'nan, 473132, China) **NGO**, 2004, 22(2): 37 ~ 39
ABSTRACT: Described is development of dual-purpose oil for tractor transmission and hydraulic system. Normally refined vacuum distillates of paraffinic Nanyang crude oil are used as base stocks and are packaged with composite additives. The relative properties of the dual-purpose oil meet corresponding requirements of U. S. John Deer Co.'s J20A. This oil can be used in both transmission and hydraulic system in high power tractor and engineering machinery.
KEY WORDS: Diesel oil; Transmission oil; Hydraulic oil; Additive

INSTRUMENTATION AND AUTOMATATION

Clinsulf-SDP Sulfur Recovery Auto-Control Feature and Principle

Tan Zhiqiang (PetroChina Southwest Oil and Gas Field Branch Chongqing General Gas Purifiction Plant, Changshou, Chongqing, 410259, China)
Luo Bin, Chen Xiaobo (PetroChina Southwest Oil and Gas Field Branch Chongqing General Gas Purifiction Plant Dianjiang Branch, Dianjiang Chongqing, 408323, China) **NGO**, 2004, 22(2): 53 ~ 56
ABSTRACT: The Clinsulf-SDP sulfur recovery technique is one of the extended advanced CLAUSE techniques at present. It is the first imported set of industrialized unit in China, as well as the second one so far in the world. Its process is simple and clear, however, its control is relatively complicated. Introduced is the control principle of the Clinsulf-SDP sulfur recovery unit and analysis is made on the basic features of different control chain. Through introduction and analysis, its advanced control principle can be recognized better.
KEY WORDS: Auto-Control feature; Principle; Introduction

MACHINERY AND EQUIPMENT

Regression Forecast of Oil/Power Consumption in Long Distance Oil Pipeline

Ding Yunhui, Sui Fujuan (Liaoning PetroChemical University Machinery Engineering College, Fushun, Liaoning, 113001, China) **NGO**, 2004, 22(2): 61 ~ 63
ABSTRACT: There are a lot of factors affecting the oil transportation capital in oil pipelines, but the consumption of electricity and fuel oil in pipelines is the most important one. Taking the data of throughput rate and oil/power consumption for many years in an oil pipeline as observed values, by using mathematical statistic, a few possible model equations are supposed to make a more throughput rate study on the effect of throughput rate on energy consumption. After comparing the goodness of fit of each equation, optimum fitted equation and fitted curve affecting oil/power consumption are determined.
KEY WORDS: Oil pipeline; Energy consumption; Oil/power consumption; Regression forecast

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net